

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA TEXTILNÍ**

**PREDIKCE TVAROVÉ STÁLOSTI PLOŠNÝCH  
TEXTILIÍ**

**PREDICATION OF THE SHAPE STABILITY  
OF THE FLAT TEXTILES**

**Liberec 2012**

**Petra Hejdová**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA TEXTILNÍ**

---

**PRŮMYSLOVÝ MANAGEMENT**

**Predikce tvarové stálosti plošných textilií**  
**Predication of the shape stability of the flat textiles**

**Petra Hejdová**

138

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Katarína Zelová**

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 65

Počet obrázků: 24

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 4

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petra Hejdová**  
Osobní číslo: **T10000108**  
Studijní program: **N3108 Průmyslový management**  
Studijní obor: **Produktový management - Textil**  
Název tématu: **Predikce tvarové stálosti plošných textilií**  
Zadávací katedra: **Katedra hodnocení textilií**

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte literární rešerši zaměřenou na predikci vlastností textilních materiálů.
2. Charakterizujte mačkavost textilií, parametry ji ovlivňující. Popište princip nejvíce používané metody hodnocení mačkavosti textilií.
3. Statisticky zpracujte experimentální data a určete parametry nejvíce ovlivňující mačkavost textilií.
4. Na základě experimentálně zjištěného úhlu zotavení navrhnete predikční postup pro předpověď mačkavosti textilií. Jako ukazatel mačkavosti berte v úvahu úhel zotavení změřený po pěti minutách relaxace vzorku textilie.
5. Ověřte vhodnost navržené predikční metody a formulujte závěrečné zjištění.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. JEDDA, H., GHITH, A. AND SAKLI, F. Prediction of fabric drape using the FAST systém. Journal of the Textile Institute, 2007, 98(3), 219 - 225.
2. CHEN, TING, ZHANG, CHONG , LI, LIQING AND CHEN, XIA. Simulating the drawing of spunbonding nonwoven process using an artificial neural network technice. 2008, Journal of the Textile Institute, 2007, 99: 5, 479 - 488.
3. BELTRAN, R., WANG, L. AND WANG, X. Predicting the pilling tendency of wool knits. Journal of the Textile Institute, 2006, 97(2), 129 -136.
4. FAN, J. Artifical neural network model for predicting the properties of worsted fabric. Textile Reserch Journal 68(10), 763-771. 1998.
5. KVASNIČKA, V., A KOL. Úvod do teorie neuronových sítí. Bratislava: IRIS, 1997. 285s. ISBN 80-88778-30-1.
6. TUČKOVÁ, J. Úvod do teorie a aplikací umělých neuronových sítí. Praha: ČVUT, 2003. 103S. ISBN 80-01-02800-3.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Katarína Zelová

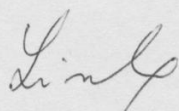
Katedra oděvnictví

Datum zadání diplomové práce:

31. října 2011

Termín odevzdání diplomové práce:

9. května 2012

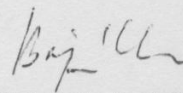


prof. RNDr. Aleš Linka, CSc.

děkan



L.S.



Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2011

**P r o h l á š e n í**

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum            6. 5. 2012

Podpis

*Petra Hřelová*

**Poděkování:**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Kataríně Zelové za pomoc, poskytnuté informace a cenné rady, kterými obohatila tuto práci. Zejména jí chci poděkovat za pomoc při měření potřebných dat a za to, že mi pro realizaci diplomové práce dovolila použít data ze svých vlastních měření. Děkuji také všem studentům, kteří se podíleli na již zmíněném měření dat. V neposlední řadě patří mé díky mojí rodině za jejich pomoc, trpělivost a finanční podporu, která mi umožnila studium.

### **Anotace**

Diplomová práce se zabývá predikcí tvarové stálosti plošných textilií a metodami, které jsou pro ni používány. Konkrétně se jedná o regresní analýzu a využití umělých neuronových sítí. Za účelem dalšího zpracování dat, získaných měřením úhlu zotavení, a navržení predikčního postupu pro předpověď mačkavosti textilií, byla provedena lineární rešerše týkající se této problematiky. Mačkavost materiálu je v práci charakterizována úhlem zotavení, postup měření je popsán v experimentální části diplomové práce. Další nezbytnou částí diplomové práce je charakteristika materiálů, které byly při měření použity. Zjištěné hodnoty jsou statisticky zpracovány. Na základě naměřených hodnot úhlu zotavení a charakteristik použitých materiálů se práce pokouší nalézt vhodnou metodu pro predikci mačkavosti plošných textilií. Dále je jejím cílem co možná nejobjektivněji určit vhodnost použití navrhované metody.

### **Klíčová slova**

Tvarová stálost, predikce vlastností, plošné textilie, úhel zotavení, regresní analýza, umělé neuronové sítě

### **Annotation**

This work deals with a prediction of a properties of a flat textiles and it is deals with a methods which are used for the prediction of the properties too. Regression analysis and the artificial neuron networks are concretely used in this work. First part of this work is exploration of facts which are necessary for knowledge of work with the measured data and suggestion of the prediction process. Shape stability is characterized by a recovery angle. Measuring of the recovery angle is described in experimental part of the work. Another different part deals with description of the textiles with are used for measuring of the recovery angle. Experimental data are processed. Aim of this work is proposed the method of the prediction of the properties of the flat textiles and to confirm if this method is acceptable.

### **The key words**

Shape stability, prediction of properties, flat textiles, recovery angle, regression analysis, artificial neuron networks

**Použité zkratky**

Tab. – tabulka

Obr. – obrázek

Tzv. – takzvaný

ANN – umělé neuronové sítě

č. – číslo



## Obsah

Obsah .....	6
Úvod.....	8
1 Metody používané pro predikci vlastností plošných textilií .....	9
1.1 Lineární regresní model [11].....	10
1.2 Neuronové sítě.....	12
1.3 Co inspirovalo práci.....	16
2 Mačkovost plošných textilií .....	21
2.1 Vlastnosti textilie, které ovlivňují její mačkovost .....	22
2.2 Hodnocení mačkovosti plošné textilie .....	23
2.2.1 Objektivní hodnocení mačkovosti textilie v různých směrech [7] ..	24
2.2.2 Zkoušení mačkovosti plošných textilií na přístroji UMAK (měření úhlu zotavení).....	27
2.2.3 Metoda skládaného proužku textilie .....	30
2.2.4 Metoda AKU .....	30
2.2.5 Schopnost zotavení horizontálně složeného vzorku (měření úhlu zotavení).....	31
3 Experimentální část .....	34
3.1 Zaměření experimentu .....	34
3.2 Charakteristika materiálů .....	36
3.3 Statistické zpracování souboru dat – jednorozměrná analýza [13], [14].....	38
3.4 Vliv vazby a dostavy na anizotropii mačkovosti textilie .....	44
3.5 Statistické zpracování datového souboru - vícerozměrná analýza .....	47
3.5.1 Maticový graf .....	48
3.5.2 Analýza hlavních komponent .....	50
3.5.3 Faktorová analýza [12].....	52

3.5.4 Shluková analýza – dendrogram [12] .....	53
3.6 Statistický model pro predikci úhlu zotavení textilie .....	55
4 Závěr .....	60
Použité zdroje .....	62
Seznam obrázků .....	64
Seznam tabulek .....	65
Seznam příloh .....	66

## Úvod

Tato práce pojednává o tvarové stálosti plošných textilií. Konkrétně se zabývá problematikou predikce hodnoty úhlu zotavení textilie za pomoci znalosti určených charakteristik plošné textilie. Tyto vlastnosti budou vybrány na základě studie literárních zdrojů provedené v rešeršní části práce. Úhel zotavení charakterizuje mačkavost textilie. V této práci je použita metoda hodnocení mačkavosti pomocí měření úhlu zotavení snímáním. V rešeršní části práce jsou uvedeny některé další metody hodnocení mačkavosti textilie, které je možné použít. Tato inovativní metoda ovšem zohledňuje při měření anizotropii textilie. Její vliv je významný zejména pro některé tkaniny, jako jsou například tkaniny s keprovou nebo atlasovou vazbou.

Tomu jak ovlivňuje rozdílná vazba nebo též změna velikosti dostavy textilie její mačkavost, je věnována pozornost v experimentální části práce. Výsledky zkoumání jsou zhodnoceny slovem i graficky a ukazují, u kterých z uvedených textilií je potřeba při hodnocení mačkavosti přihlížet k jejich anizotropii.

Z rešeršní části práce vyplývá, že nejčastěji používanými predikčními metodami jsou regresní modely a ANN modely využívající umělých neuronových sítí. To je důvodem toho, že se jimi bude práce dále zabývat. Modely, které využívají umělých neuronových sítí, jsou uvedeny pro úplnost v rešeršní části, protože je autoři často uvádějí jako vhodnou alternativu použití statistických modelů. V závěru práce je navržen lineární regresní model pro predikci mačkavosti textilie.

Materiály, které jsou pro měření použity, jsou vyrobeny z bavlněných vláken. Osnovní a útkové příze mají u všech textilií stejnou délkovou hmotnost, také hodnota dostavy osnovních nití je konstantní. Lze proto konstatovat, že navržený model je vhodný k predikci úhlu zotavení textilie pouze u omezeného množství textilií. Tyto odpovídají hodnotami uvedených charakteristik textiliím použitým při tvorbě modelu. V závěru práce jsou zhodnoceny výsledky získané v její experimentální části a co možná nejobjektivněji posouzena vhodnost použití navrženého modelu.

## 1 Metody používané pro predikci vlastností plošných textilií

Navržená metoda pro predikci tvarová stálosti plošných textilií používá lineární regresní model popsany v části 1.1. Pro řešení této problematiky, se v uvedených studiích používají i modely vzniklé pomocí umělých neuronových sítí, které jsou blíže popsány v části 1.2. Regresní analýza je pojem, který zahrnuje statistické metody a postupy, které jsou používány pro odhad hodnoty jisté náhodné veličiny (závislé proměnné) na základě znalosti jiných veličin (nezávislých) proměnných.

Vícerozměrná data jsou v reálném životě častější než jednorozměrná. Mluvíme o nich v případě, kdy je na jednom objektu měřena více než jedna veličina. V této práci se jedná o velikost úhlu zotavení (závislá proměnná) textilie a její tloušťku, plošnou hmotnost a další dále uvedené charakteristiky textilie (nezávislé proměnné). Změřená vícerozměrná data lze znázornit pomocí tabulky nebo matice s  $m$  sloupci a  $n$  řádky. Tuto matici lze označit jako zdrojovou. Každý řádek tak obsahuje  $m$  hodnot (vektor hodnot naměřených pro určitý vzorek). Analyzujeme - li pouze jeden znak, připravujeme se o důležité informace o vzorku. Pokud data bereme jako celek, můžeme posoudit vazby, závislosti a struktury. Pro statistickou analýzu dat je důležité určit, jaké rozdělení data mají. Jediné vícerozměrné rozdělení, které lze znázornit ve dvourozměrném systému souřadnic je dvourozměrné. Hustotu dvourozměrného rozdělení lze vyjádřit pomocí rovnice 1, kde  $x_1$  a  $x_2$  jsou složky rozdělení a parametr  $\rho$  je korelační koeficient. [11]

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \cdot \exp\left[-\frac{x_1^2 - 2\rho x_1 x_2 + x_2^2}{2(1-\rho^2)}\right] \quad (1) \quad [11]$$

Hustota pravděpodobnosti dvourozměrného normálového rozdělení může být znázorněna pomocí trojrozměrného grafu. Objem pod plochou grafu je roven jedné.

Korelační koeficient je definován jako míra závislosti náhodných proměnných. Vztah mezi korelačním koeficientem  $\rho_{x,y}$ , kovariancí  $\sigma_{x,y}^2$  a rozptyly  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$  je vyjádřen rovnicí 2.

$$\rho_{x,y} = \frac{\sigma_{x,y}^2}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}} \quad (2) \quad [11]$$

Kovarianci a rozptyly lze odhadnout pomocí vztahů 3 a 4.

$$\sigma_{x,y}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (3) \quad [11]$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x}) \quad (4) \quad [11]$$

Odhadem korelačního koeficientu  $\rho_{x,y}$  je  $r_{x,y}$ . Podle některých zdrojů jsou veličiny v případě, že je  $r$  menší než hodnota 0,7 nezávislé a nad touto hodnotou jsou naopak závislé. Ani pokud je tato podmínka závislosti veličin splněna, nemusí být veličiny na sobě navzájem závislé a naopak. Na hodnotu korelačního koeficientu má vliv i množství dat, se kterými počítáme. S počtem použitých dat se korelační koeficient mění a poté se ustaluje na nějaké hodnotě. Lineárně závislá data s (ideální) závislostí mají korelační koeficient  $r=1$ . Tento stav však většinou nastává vlivem chyby, kdy je jeden sloupec v tabulce dvakrát, nebo v případě, kdy je jeden sloupec násobkem druhého. Pro testování statistické významnosti odhadnutého korelačního koeficientu se používá testování pomocí t-testu. [11] Korelaci mezi parametry měřenými na textilích uvedených v experimentální části zobrazuje korelační matice. Ta je popsána níže. Úlohou lineární regrese je po určení korelačního koeficientu stanovit rovnici přímky závislosti.

### 1.1 Lineární regresní model [11]

Pro nezávislou náhodnou veličinu s normálním rozdělením  $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$  můžeme vyjádřit i-tou naměřenou hodnotu vztahem 5. V této závislosti představuje  $\mu$  střední hodnotu a  $\varepsilon$  je náhodná veličina určená pouze rozptylem. Jinými slovy je  $\mu$  konstantní hodnota, kterou lze chápat jako teoretický parametr, který je pro všechna měření stejný. Naopak  $\varepsilon$  nebo lépe  $\varepsilon_i$  je stochastická hodnota, která vyjadřuje chybu měření (rozptyl určuje distribuční funkci rozložení chyb).

$$y_i = \mu + \varepsilon_i \quad (5) \quad [11]$$

Tímto způsobem lze modelovat střední hodnotu, jako funkci nezávislých proměnných. Podstatou tohoto procesu je určit střední hodnotu s maximálním využitím

znalosti předpokladů o rozdělení a povaze chyb. K odhadu střední hodnoty lze použít metodu maximální věrohodnosti. U normálního rozdělení mluvíme konkrétně o metodě nejmenších čtverců, jejímž řešením je v uvedeném případě aritmetický průměr.[11]

Metodu nejmenších čtverců lze použít i pro dvě a více proměnných. Platí to však pouze v případě, že předpokládáme normalitu, nezávislost a konstantní rozptyl dat. V tomto případě však mluvíme o jedné (nebo více) nezávisle proměnné a jedné závisle proměnné. Nezávislá proměnná neboli prediktor je deterministická. Lze ji nastavit podle potřeby nebo plánu, případně je možné ji odečíst se zanedbatelnou chybou. Tzv. nezávislá proměnná, kterou chceme pomocí modelu zjišťovat, není předem známá. Její hodnoty musíme před tvorbou modelu naměřit stejně jako hodnoty nezávislých proměnných. Je stochastická a je zatížená chybou. Takovýto regresní model lze zapsat ve tvaru 6.

$$y = a^T x + \varepsilon = a_1 x_1 + a_2 x_2 \dots + a_n x_n + \varepsilon \quad (6) \quad [11]$$

V lineárním regresním modelu je hledaný vztah mezi závislou proměnnou a nezávislými proměnnými vyjádřený pomocí hodnot nezávisle proměnných a jejich regresních koeficientů, což jsou neznámé parametry. Základní úlohou při tvorbě lineárního regresního modelu je stanovit hodnoty koeficientů  $a_i$  a  $\varepsilon$ . Výpočet odhadu těchto proměnných pro dvourozměrná data je uveden rovnicemi 7 a 8. Kde  $a_1$  a  $\varepsilon$  jsou koeficienty,  $x_i$  je změřená hodnota nezávisle proměnné,  $y_i$  je změřená hodnota závisle proměnné a  $\bar{x}$  a  $\bar{y}$  jsou jejich aritmetické průměry. Důležitým pojmem v souvislosti s lineární regresí je reziduum  $e_i$ , což je vzdálenost mezi bodem na odhadnuté přímce  $\hat{y}_i$  a naměřenou hodnotou  $y_i$  a označuje chybu modelu. [11]

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (8)$$

Součet čtverců reziduí lze vyjádřit jako  $e_i^2$ . Odhadem reziduálního rozptylu je podíl součtu čtverců reziduí a rozdílu mezi počtem proměnných a počtem měřených vzorků. [11]

Speciálním případem je polynomický regresní model. Hodnoty jsou místo přímkou proloženy polynomem. V tomto případě je stejně jako v předcházejícím použita metoda nejmenších čtverců. Hodnoty konstant  $\alpha_i$  jsou určeny tak, aby součet druhých mocnin reziduí byl minimální. Používán je polynom k-tého stupně.

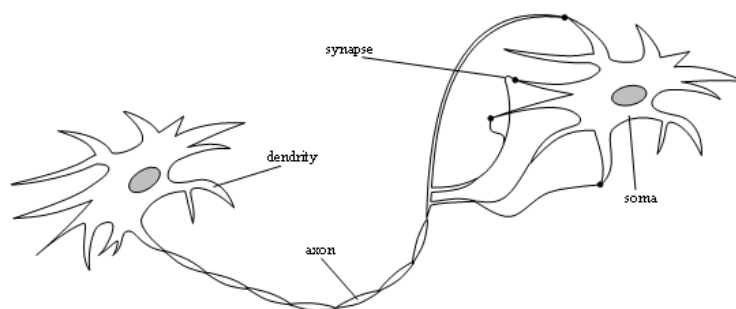
Pro ověření předpokladů metody nejmenších čtverců jsou používány následující metody. Homoskedasticita neboli konstantnost rozptylu je první z podmínek použití lineárního regresního modelu. Homoskedasticita je prokázána v případě, že mají hodnoty závisle proměnné  $y$  pro všechny hodnoty nezávisle proměnné  $x$  konstantní rozptyl. Dalším z testovaných kritérií je autokorelace reziduí pomocí testu významnosti autokorelačního koeficientu, normalita náhodných chyb, vyšetření multikolinearity (což je vzájemná závislost mezi nezávislými proměnnými), vyšetření omezení parametrů a vyšetření trendů reziduí. Všechny výsledky uvedených testů jsou v programu QC.Expert uváděny automaticky. Stejně tak jsou uváděny statistické charakteristiky regrese, jako je vícenásobný korelační koeficient, koeficient determinance, predikovaný korelační koeficient, střední kvadratická predikce MEP a akaikeho informační kritérium AIC. Čím menší jsou hodnoty MEP a AIC, tím je regresní model vhodnější a jeho predikční schopnost je lepší. Před vytvoření modelu je důležité zamyslet se nad tzv. regresním tripletem. Jeho součástí je kritika dat, neboli posouzení kvality dat pro daný model, kritika modelu, neboli zkoumání kvality modelu pro daná data a kritika metody odhadu, což je v uvedeném případě metoda nejmenších čtverců.[15]

## 1.2 Neuronové síť

Podstata umělých neuronových sítí spočívá ve vhodném napodobení struktury a principů činnosti biologických neuronových sítí. Napomáhají k tomu umělé technické a programové prostředky. Výhodou neuronových sítí oproti jiným známým výpočetním postupům je, že není nutné znát algoritmus řešení daného problému, ale postačí znalost určitého počtu příkladů, jejichž řešení je známé. Umělé neuronové síť jsou stále častěji používány ke zpracování zpravidla numerických informací. [17]

Pro lepší pochopení funkce neuronových sítí je zde nejprve popsán jejich biologický vzor. Neuron jinými slovy nervová buňka, je základní stavební jednotkou biologického informačního systému. Neurony jsou elementární informační prvky, avšak

jako každá živá buňka jsou složitou soustavou se svým vlastním vnitřním informačním systémem. Jejich specifickou funkcí je vytvářet a přenášet nervové vzruchy. V mozku navíc působí mnoho dalších buněk, jako jsou například buňky gliové. Proto hovoříme – li o neuronových buňkách je to značně zjednodušené. Neurony se nacházejí ve dvou základních stavech a plynule přecházejí z jednoho do druhého. Jedná se o stav excitovaný nebo stav utlumení, kdy jsou neurony inhibovány. Existují předpoklady, že se v nich šíří informace ve vlnách. Informační mohutnost mozku je dána nejenom počtem neuronů, které jsou schopny správné funkce, ale také počtem spojení mezi nimi. Neuron se skládá z několika částí, jak je uvedeno na obrázku 1. Nejvýraznější částí je tělo neuronu (soma). Z těla neuronu vycházejí dva druhy výběžků. První jsou nazývány dendrity a druhé axony. Dendrity vedou vzruch k buňce, jedná se tedy o její vstupy. Axony naopak představují výstup z neuronu. Na rozdíl od dendritů, kterých je v nervové buňce hodně, má neuron pouze jeden axon. Konce axonu jsou rozvětveny a nacházejí se na nich synapse. Synapse jsou specializované útvary. Zprostředkovávají informační styk mezi neurony, které mezi sebou spolupracují. [17]



**Obr. 1: Schéma neuronu a jeho spojení s dalším neuronem - podle [17]**

Zjednodušením představ o biologickém neuronu a jejich formulací do řeči čísel získáme matematický model neuronu. Na tomto modelu jsou vystavěny neuronové sítě. Model, který lze nazvat základním, je stále velmi často používán a byl publikován již v roce 1943. Má dvě základní podoby. První variantou jsou modely s nespojitými přenosovými funkcemi, které se nazývají modely první generace. Druhou variantou jsou modely se spojitými přenosovými funkcemi označované jako modely druhé generace. Pro model neuronu jsou důležité jeho 4 základní části soma (tělo), dendrity, axon a synapse. Dendrity a axon neuronu slouží k vedení vzruchů v buňce. Synapse lze považovat za paměťové elementy, které jsou schopny se učit pomocí informací, které přicházejí zvenčí. Synapse jsou v modelu reprezentovány vahami, které se postupně



adaptují během toho, když jimi procházejí vzruchy. Váha může být pro určitý stav neuronu vyjádřena reálným číslem. Soma přijímá signály, které přicházejí do neuronu prostřednictvím dendritů a ty jsou sloučeny. Je - li hodnota vyšší než práh neuronu, neuron se aktivuje a na jeho výstupu se objeví signál. [16], [17]

Neuron je v podstatě matematický procesor, do kterého vstupuje signál ve formě  $n$  - rozměrného vektoru a vystupuje z něj pouze jeden výstupní signál. Vstupní vektor reprezentuje signály od okolních neuronů  $x_i$ . Váhy jsou označovány  $w_i$  a hodnota  $w_0$  reprezentuje prahovou hodnotu, při které se neuron aktivuje. V uvedeném modelu můžeme rozlišit dva druhy matematických operací synaptické operace a somatické operace. Základní model neuronu je znázorněn na obrázku 2.

Synaptické operace reprezentuje konfluence. Ke každé složce vstupního vektoru je přiřazena váha z vektoru synaptických vah. Může být popsána vztahem, který je uveden v rovnici 9.

$$z_i(t) = x_i(t) \cdot w_i(t); i = 1, 2, \dots, n \quad (9) \quad [17]$$

První somatickou operací je agregace neboli sloučení jednotlivých vstupních signálů. Operaci pro základní jednoduchý model lze zapsat rovnicí 10. Operace zobrazuje vektor  $z(t) \in \mathbb{R}^n$  na skalární signál  $u(t) \in \mathbb{R}^1$ .

$$u(t) = \sum_{i=1}^n z_i(t) \text{ nebo } u(t) = \sum_{i=1}^n x_i(t) \cdot w_i(t) \quad (10) \quad [17]$$

Další operací po agregaci je nelineární zobrazení a prahování. Tyto operace lze popsat vztahem popsaným v rovnici 11.

$$y(t) = F[u(t), w_0] \quad (11) \quad [17]$$

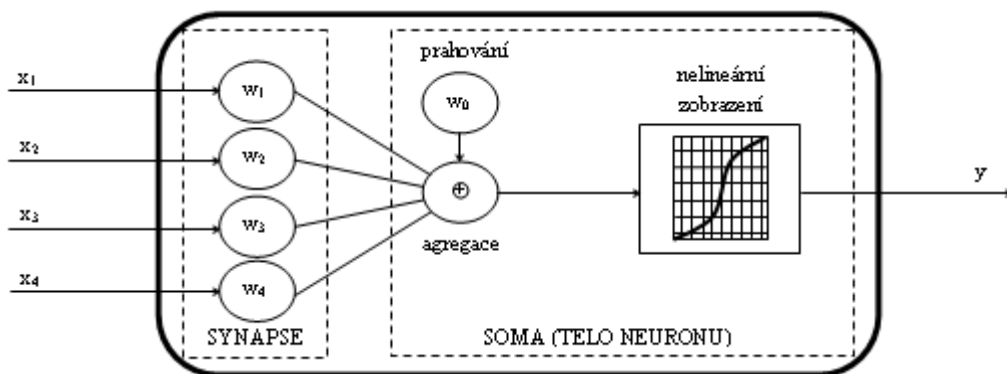
$F$  v uvedeném vztahu představuje přenosovou nebo aktivační funkci neuronu. Po zavedení pomocné veličiny  $v(t)$  můžeme vztah přepsat do podoby rovnice 12.

$$y(t) = [v(t)], v(t) = u(t) - w_0 \quad (12) \quad [17]$$

Jako aktivační funkce je nejčastěji používána sigmoida tato funkce je dána vztahem, který vyjadřuje rovnice 13.

$$y[v(t)] = X[v(t)] = 1/(1 + e^{-v(t)}) \quad (13) \quad [17]$$

Neurony můžeme rozdělit na diskretní, jejichž hodnotami výstupu může být pouze 1 nebo 0. V jiném případě může být výstupem veličina například z oboru reálných nebo komplexních čísel. [16], [17]

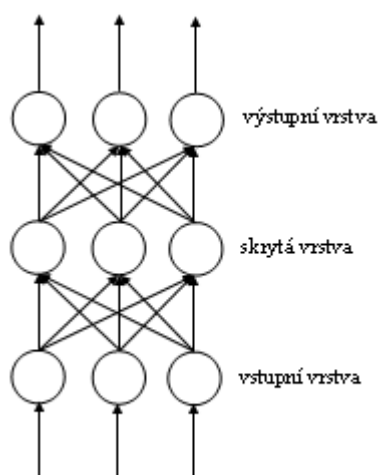


Obr. 2: základní model neuronu - podle [17]

„Neuronová síť je paralelní distribuovaný systém výkonných prvků modelujících biologické neurony, účelně uspořádaný tak, aby byl schopen požadovaného zpracování informací.“[17] Neuronová síť je tvořena výkonnými prvky a spoji. Výkonné prvky jsou reprezentovány použitými modely neuronů. Spoje slouží jako přenosové kanály. Výkonný prvek má jistou přenosovou nebo aktivační funkci. Chování sítě je závislé na vzájemných interakcích mezi neurony. Použití jednoho neuronu není v praxi příliš efektivní. Mnohem lepších výsledků lze dosáhnout, pokud použijeme více neuronů. Organizace neuronové sítě může být různorodá. Jednotlivé neurony jsou organizovány do vrstev. Má-li síť několik vrstev, mohou být neurony propojeny dvěma způsoby. V sítích s mezivrstevními spoji jsou spojeny výkonné prvky v různých vrstvách. Signál se v nich šíří pouze jedním směrem, pak hovoříme o přímovazebních mezivrstevních spoji. Pokud se signál šíří i v opačném směru, hovoříme o zpětnovazebních mezivrstevních spoji. V sítích se spoji pouze mezi výkonnými prvky téže vrstvy, jsou spojeny prvky pouze rámci jedné vrstvy. Velikost neuronové sítě je určena počtem výkonných prvků na vstupu sítě, počtem prvků na výstupu ze sítě a počtem vrstev. Dále můžeme neuronové sítě rozdělit na neuronové sítě biologického typu, které vytvářejí modely reálných neuronových sítí a aplikační neuronové sítě, které se striktně nedrží podobnosti s biologickými systémy, ale přizpůsobují se požadavkům dané aplikace. [17]

Vrstvy označujeme jako vstupní, výstupní a skryté. Vstupní vrstva je někdy označována také jako vrstva skrytá. Dynamika vrstevnatá síť funguje následovně.

Neurony vstupní vrstvy přijmou vzruchy a proběhnou v nich již dříve popsané operace. Na jejich výstupu je signál předán další vrstvě neuronů. Postup se opakuje v každé vrstvě. Výstup poslední vrstvy je zároveň výstup samotné neuronové sítě. Neuronová síť vzniká a pracuje ve třech etapách. První etapa se nazývá organizační. V této fázi je nutné určit velikost sítě a její strukturu. Během adaptační etapy nebo též učení neuronové sítě by měla síť dosáhnout takového stavu, ve kterém bude na předkládané vzory reagovat předpokládaným způsobem. Podstatou učící fáze je minimalizovat chybu, toho lze dosáhnout změnou synaptických vah. Příkladem je proces, který se nazývá backpropagation, protože probíhá opačně než aktivní dynamika neuronové sítě. Učící algoritmus je aplikován nejdříve na výstupní vrstvu neuronů. Chyba se potom přenáší do nižších vrstev až ke vstupním neuronům. Poslední etapou života neuronové sítě je aktivační etapa. Během této etapy je podle určitého předloženého vstupního vzoru upraven stav sítě, až dosáhne ustáleného stavu. Na obrázku 3 je uvedeno schéma vrstevnaté neuronové sítě. [16], [17]



Obr. 3: Schéma vrstevnaté neuronové sítě

### 1.3 Co inspirovalo práci

Jedním z článků, které se zabývají tematikou predikce vlastností charakterizujících stálost a odolnost plošné textilie je Prediction of fabric drape using the FAST system (JEDDA, H., GHITH, A. AND SAKLI [9]). Tento článek pojednává konkrétně o predikci splývavosti textilie. Autoři studie se zabývali vztahem mezi koeficientem splývavosti a změřenými mechanickými vlastnostmi. Zmíněné mechanické vlastnosti, stříhové vlastnosti a ohybová tuhost byly hodnoceny pomocí systému FAST. Měření je objektivní, nepříliš náročné a bylo vyvinuto pro použití

výrobci konfekce. Pro měření splývavosti textilie byly použity rozdílné tkaniny s keprovou nebo plátnovou vazbou. Principem uvedeného experimentu je návrh tří regresních modelů pro každý typ vazby. Pro predikci splývavosti textilií je následně použit lineární regresní model. Druhá predikční metoda, která je v tomto článku popsána využívá neuronových sítí.

Splývavost stejně jako mačkovost významně ovlivňuje vzhled výrobku během nošení. Je vyvolána gravitačními silami, které působí v závislosti na strukturálních a mechanických vlastnostech textilie. Autoři se odvolávají na předcházející studie, ze kterých vyplývá, že splývavost ovlivňují především tuhost v ohybu, smykové vlastnosti, plošná hmotnost textilie a její tloušťka. To je důvod, proč se zabývají právě vlivem těchto charakteristik textilie.

Tkaniny jsou specifické tím, že jejich vlastnosti jsou v různých směrech výrazně odlišné. Tento jev se nazývá anizotropie. Při vytváření profilu splývavosti textilie je nutné tuto skutečnost zohlednit. Autoři uvádí, že je podle jimi provedené studie důležité měřit například ohybovou tuhost ve více směrech. Doporučených je 12 směrů odebrání vzorku. Při hodnocení splývavosti je použita digitální kamera, která snímá splývavost celého vzorku a ze získaných dat poté skládá profil splývavosti textilie. Autoři navrhuje, aby bylo pro experiment použito 33 tkanin s plátnovou vazbou a 20 tkanin s vazbou keprovou. To představuje poměrně velký soubor zpracovávaných dat. Proto je pro tuto diplomovou práci vhodné použít metodu hodnocení mačkovosti pomocí snímání úhlu zotavení. Jako jediná z uvedených používá způsob odběru vzorku ve dvanácti směrech, v případě hodnocení takového množství dat je její použití bezesporu pohodlnější a navíc do jisté míry eliminuje chybu způsobenou při měření vzniklou vlivem lidského fakturu.

V experimentální části článku autoři nejdříve testovali korelaci mezi každým z výše zmíněných parametrů a koeficientem splývavosti pro všechny tkaniny, aby mohli určit jejich vliv na splývavost textilie. Korelační koeficient je popsán hodnotou p-value pro každý parametr. Autoři v první části článku uvádějí, že budou pracovat s pěti parametry, ale vzhledem k tomu, že mezi ohybovou tuhostí a plošnou hmotností textilie je souvislost, je v pokračování článku zohledněna pouze ohybová tuhost.

$$DC = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (14) \quad [9]$$

Vztah mezi koeficientem splývavosti, ohybovou tuhostí, smykovými vlastnostmi a tloušťkou textilie je popsán pomocí lineárního regresního modelu vyjádřeného rovnicí 14.

V níž  $x_i$  značí jednu z charakteristik textilie,  $b_o$  a  $b_i$  jsou konstanty získané regresí,  $i$  je číslo dané charakteristiky a  $n$  je počet charakteristik. Korelace mezi koeficientem splývavosti textilie a ostatními mechanickými vlastnostmi je podle uvedeného článku větší pro keprové tkaniny než pro tkaniny plátnové.

Z výsledků uvedených v článku vyplývá, že použití neuronových sítí je vhodnější než použití lineárního regresního modelu v případě, kdy mezi vstupními a výstupními daty není linearita. Výsledek srovnání použití regresního modelu a neuronových sítí je, že při vyšším koeficientu splývavosti je výstupem neuronové sítě hodnota bližší k naměřeným hodnotám. U neuronových sítí byla zjištěna menší predikční chyba než u regresního modelu. [9]

Dalším článkem, který se zabývá problematikou použití statistických modelů a neuronových sítí pro predikci vlastností textilií je „Simulating the drawing of spunbonding nonwoven process using an artificial neural network technique“ (CHEN. T. a kol. [3]). Článek pojednává o simulaci vlivu procesních parametrů výroby netkaných textilií metodou spun-bond na průměr vlákna v textilii. Průměr vlákna je jedním ze základních parametrů při výrobě netkané textilie. Proto je vyšetření vlivu procesních parametrů na průměr vlákna důležité nejenom pro optimalizování procesu výroby netkané textilie, ale i pro zvýšení její kvality.

Je známo, že statistické modely a ANN (artificial neural network) modely jsou založeny na znalosti experimentálních dat. Výhodou ANN je to, že pro jejich realizaci není potřeba tolik měření. Tato skutečnost a princip, na kterém pracují umělé neuronové sítě, jsou dále rozvedeny v kapitole 1.2.

Zajímavým způsobem je v článku popsán odběr vzorků z textilie, autoři se zaměřují na to, aby byl odběr vzorků opravdu náhodný. Vzorky jsou vyrobeny na stejném zařízení, vždy s jinými výrobními parametry. Zhotovena je textilie, která měří 2,4 m na 2,4 m. Na textilii jsou náhodné nepravidelnosti. Vzorky jsou

z ní odebírány také náhodně, aby bylo dosaženo co nejobjektivnějších výsledků měření. Textilie je rozdělena na 100 úseků. Z těchto 100 oblastí je náhodně vybráno pouze 20, které pak slouží při měření jako vzorky. K vytvoření výběru je použit generátor náhodných čísel. Během měření průměru vláken jsou zhotoveny záběry na speciálním mikroskopu, a ty jsou dále zpracovány pomocí softwaru na zpracování obrazu.

Pro statistický model jsou vstupními parametry rychlost průtoku taveniny, počáteční teplota polymeru, počáteční teplota vzduchu, index toku taveniny a počáteční rychlost vzduchu. Výchozím parametrem je potom průměr vlákna. Tento článek je pro další průběh práce zajímavý zejména kvůli názorně popsané metodě zjišťování a následnému porovnávání efektivnosti použité predikční metody. Efektivnost použité predikční metody testují autoři článku tak, že provedou 26 měření. Z toho je 25 výsledků měření použito pro přípravu modelu a jedno měření je testovací. Postu opakují tolikrát, až jsou k testování použita všechna měření. Takto je možné získat odhad chyby modelu. Za chybu je považován rozdíl mezi změřenou hodnotou průměru vlákna a teoretickou hodnotou, kterou získáme za použití daného modelu. Chyba je vyjádřena v procentech ze změřeného průměru vlákna. Rovnice pro regresní model, ve kterém jsou data proložena místo přímky polynomem, uvedený v článku je vyjádřena dále 15.

$$D = a + b_1M + b_2G + b_3\Theta + b_4\Theta_a + b_5u_a + b_6M^2 + b_7G^2 + b_8\Theta^2 + b_9\Theta_a^2 + \\ + b_{10}u_a^2 + b_{11}MG + b_{12}G\Theta + b_{13}\Theta\Theta_a + b_{14}\Theta_a u_a + b_{15}u_a M \\ + b_{16}M\Theta + b_{17}M\Theta_a + b_{18}G\Theta_a + b_{19}Gu_a + b_{20}\Theta u_a$$

(15) [3]

V uvedené rovnici představují  $a$  a  $b_i$  konstanty,  $D$  je průměr vláken,  $M$  je index toku taveniny,  $G$  je rychlost průtoku taveniny,  $\Theta$  je počáteční teplota taveniny,  $\Theta_a$  je počáteční teplota vzduchu,  $u_a$  je počáteční rychlost vzduchu po vypočítání odhadu chyby modelu jsou mezi sebou porovnány výsledky získané pro ANN model a pro statistický model.

I z tohoto článku lze usoudit, že při použití ANN modelu je výsledný odhad chyby predikce menší a stabilnější (jeho hodnoty tolik nekolísají) jako u statistických modelů. [3]

Dalším velmi zajímavým námětem k zamyšlení jsou parametry, které lze použít pro tvorbu statistického modelu a ANN modelu. Nemusí být uvažovány pouze

parametry výrobního procesu a materiálu, ze kterého je textilie vyrobena, ale určující můžou být i vlivy okolního prostředí nebo jak je uvedeno v článku (BRASQUET. C. LE CLOIREC. P. [2]) „Pressure drop through textile fabrics – experimental data modeling using classical models and neural networks“ proces měření predikované vlastnosti. V tomto případě je měřen tlakový spád po průchodu textilií a při tvorbě modelu je použita rychlost tekutiny, její viskozita a hustota. V našem případě sehrává při měření roli například nastavením kamer, hmotnost závaží, doba zatížení, použitý software atd. Všechny tyto vlivy zůstávají v průběhu měření konstantní, proto by neměli mít vliv na výsledky měření úhlu zotavení textilie. [2]

Před samotnou tvorbou statistického modelu, je potřeba zvážit, jaké parametry použijeme pro jeho vznik. Pro výběr těchto parametrů lze použít vlastní zkušenosti, nebo se inspirovat studiemi, které se specializují na danou nebo podobnou problematiku. V experimentální části, bude uvažováno především o vlivu plošné hmotnosti, dostavy, vazby, tloušťce textilie, ohybových a smykových vlastnostech. Vliv těchto parametrů textilie je podle již zmíněných článků patrný i při predikci splývavosti textilie. Stejně jako v prvním zmíněném článku se o nich zmiňují i autoři článku „Garment drape“ (HUNTER. L., FAN. J. [8]).

Pro průběh experimentu v další části práce, je důležité zaměřit se na jeho jednotlivé fáze. Zaprvé se jedná o odběr vzorků, který je pro získání objektivních výsledků měření velmi důležitý. Vzorky by měli být z textilie odebrány pokud možno náhodně. Je důležité se zároveň zamyslet, jestli a jaký vliv má na vlastnosti odebíraných vzorků anizotropie textilie, a je-li třeba ji během experimentu zohlednit. O zohlednění anizotropie při měření se zmiňují (JEDDA, H., GHITH, A. AND SAKLI [9]) i (HUNTER. L., FAN. J. [8]), kteří uvádějí, že měření, když uvažujeme anizotropii hodnoty korelačního koeficientu, se různí. V další fázi je navržen statistický model pro predikci požadované vlastnosti textilie, který je založen na naměřených hodnotách vstupních parametrů majících na danou vlastnost textilie vliv. V práci je za závislou veličinu považována mačkovost textilie a za nezávislé veličiny potom její tloušťka, dostava útku, plošná hmotnost, a veličiny charakterizující ohybové a smykové vlastnosti textilie. Pro zhotovení modelu je nutné stanovit potřebný počet hodnot závislé veličiny. V našem případě byl změřen úhel zotavení textilie a ostatní hodnoty charakterizující nezávislé veličiny na 16 textiliích. Jedná se o bavlněné textilie. Z toho vyplývá, že z 15 výsledků měření bude vytvořen regresní model a dvanácté měření poslouží pro určení

chyby regresního modelu. Tento postu se opakuje pro každé z měření. Ze vzniklých 16 odhadů chyby regresního modelu určíme průměrnou chybu regresního modelu. Alternativním modelem statistickému modelu je ANN model. Z uvedených zdrojů vyplývá, že chyba predikce je u tohoto modelu menší a více stabilní. Protože využití umělých neuronových sítí je v této problematice významné, je princip fungování neuronové sítě popsán v předcházející kapitole, i když tento model nebude zpracován v experimentální části.

## 2 Mačkavost plošných textilií

Mačkavost plošné textilie je možné definovat jako její dočasnou nebo trvalou deformaci, vzniklou působením tlaku na textilií nebo na již zhotovený oděvní výrobek. Schopnost textilie navrátit se do původního stavu je ovlivněna mnoha faktory. Zejména složením textilního materiálu, konstrukcí textilie a rozsahem deformace. Pro uživatele oděvního výrobku představuje řešení mačkavosti jeho vyžehlení nebo vyvěšení. Mačkavost může být v daném případě nežádoucí, avšak pomačkání může být zároveň součástí návrhu oděvu. [22]

Mačkavost textilie je jedna z vlastností, které charakterizují stálost a odolnost plošné textilie. Tyto vlastnosti popisují chování plošných textilií při zpracování a používání. Jedná se o odezvy textilie na působení chemických a fyzikálních vlivů, kterým je během této doby vystavena. Vlivem těchto sil může docházet k změně vlastností, vzhledu nebo k destrukci textilie. Mezi tvarové stálosti patří kromě mačkavosti také tuhost v ohybu a splývavost. Při zjišťování tuhosti v ohybu a splývavosti působí na textilií pouze malé síly vyvozené z gravitačního zrychlení. Během měření mačkavosti je textilie vystavena větším silám, které mohou v textilií způsobovat nevratné (plastické) deformace. Které se na textilií projevují záhyby a zmačkáním. [10]

Deformace textilie se skládá z deformací elastických, deformací plastických a jejich případného zotavení. Tento vztah vyjadřuje vzorec 16. [10]

$$E_C = E_E + E_P + E_z \quad [\%] \quad (16) \quad [10]$$

-  $E_C$  - celková deformace [%]

-  $E_E$  - elastická deformace [%]



- $E_P$  - plastická deformace [%]
- $E_Z$  – zotavená deformace [%]

Zmíněný vztah platí i pro mačkavost textilie, proto můžeme o pružné textilií zároveň mluvit jako o nemačkové. Textile nevykazuje během používání nežádoucí lomy a ohyby. [10]

## 2.1 Vlastnosti textilie, které ovlivňují její mačkavost

Na mačkavost textilie má podstatný vliv její materiálové složení. Textile ze syntetických vláken jsou obecně méně mačkové, než textile z přírodních vláken zejména celulóзовých. Příčinou mačkavosti celulóзовých vláken je jejich bobtnání. Krystalické oblasti celulózy jsou tvořeny pravidelně uspořádanými makromolekulami. Ty jsou orientovány převážně ve směru osy vlákna. Řetězce celulózy jsou spojeny vodíkovými můstky a van der Walsovy silami, které udržují vlákno ve stabilním stavu. Pokud je vlákno ohýbáno, vnitřní vrstvy jsou stlačovány a vnější napínány. Za sucha se krystaly téměř nepohybují. Vlákno se dostává do stavu s vyšším obsahem energie a po ukončení namáhání se za pomoci vzniklé energie znovu vrátí do původního stavu. Ve vodě vlákno bobtná. Počet vazeb mezi řetězci se snižuje a energie v místě ohybu vlákna je využita na přesouvání stavebních elementů vlákna. Při sušení jsou vazby obnoveny, ale jsou zachovány nové vzdálenosti, což způsobuje zmačkání textilie. Bobtnání je zároveň důvodem srážlivosti celulóзовých tkanin. Pro omezení mačkavosti těchto textilií se přistupuje k aplikaci nesrážlivé, nemačkové a nežehlivé úpravy. [19]

U textilií vyrobených z polyesterových vláken může být mačkavost ovlivněna tvarem příčného řezu vlákna, jak uvádí (OMEROGLU. S., KARAKA. E. AND BECERIR. B [18]). V článku jsou porovnávána dutá a plná vlákna a vlákna s příčným řezem ve tvaru kruhu s vlákny s příčným řezem ve tvaru trojúhelníku. Je zde hodnocen vliv tohoto parametru na tuhost v ohybu, splývavost a mačkavost textilií. Aby bylo možno hodnotit vliv tvaru vláken, jsou konstrukční parametry hodnocených textilií stejné. Tvar příčného řezu vlákna významně ovlivňuje mechanické, termické a vzhledové vlastnosti. Tvar vláken a s ním související důsledky ovlivňují vlastnosti příze a textilie, která je z těchto vláken vyrobena. V dnešní době jsou vyráběna především polyesterová vlákna s příčným řezem ve tvaru kruhu. Nicméně aplikace vláken s kruhovým průřezem není vždy nejvhodnější. Charakteristickými vlastnostmi

dutých vláken jsou nízká hmotnost, objemnost a dobré teplotní vlastnosti, které jsou způsobeny obsahem vzduchu ve vláknech. [18]

Mačkovost je dána schopností pohybu příze případně vláken ve struktuře textilie a elastickými vlastnostmi vláken. Snadný pohyb příze v keprové a atlasové vazbě umožňuje překonat pomačkání lépe než pomačkání textilie s plátňovou vazbou. Úhel zotavení textilie dosahuje větší hodnoty ve směru osnovy než ve směru útku. Důvodem je, že dostava osnovy je obvykle větší než dostava útku. Dalšími důležitými faktory jsou zákrut příze, hustota příze a tloušťka tkaniny. [18]

Úhel zotavení textilií, které jsou vyrobeny z plných vláken, je větší než úhel zotavení textilií zhotovených z vláken dutých a to ve vazbách keprových a plátňových ve směru osnovy i ve směru útku. Více patrné jsou však rozdíly na plátňové vazbě. Textilie vyrobené z vláken s trojúhelníkovým průřezem mají větší hodnotu úhlu zotavení než vlákna z vláken s kruhovým tvarem příčného řezu. Nicméně textilie, které jsou vyrobeny z dutých vláken, mají hustější strukturu než textilie vyrobené z plných vláken. Hustá struktura textilií vyrobených z dutých vláken limituje pohyb vláken ve struktuře textilie. Dutá vlákna mají menší elastické vlastnosti. [18]

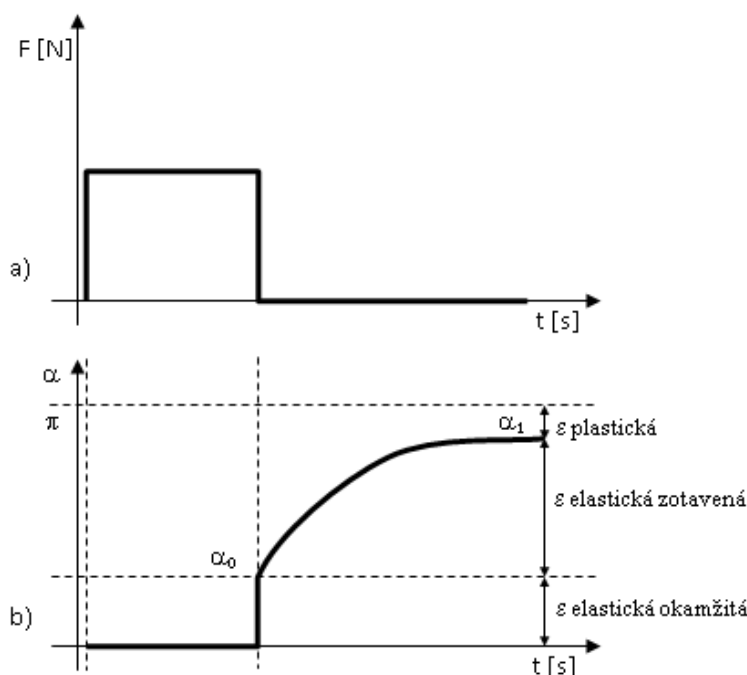
Kromě materiálového složení, struktury vlákna, příze a textilie samotné, které jsou uvedeny výše, ovlivňují mačkovost textilie i další faktory. Během nošení na ni působí teplota, vlhkost a také aktivita nositele. Zvýšení teploty a vlhkosti má vliv na mačkovost textilie. Se zvýšením teploty a vlhkosti dochází zároveň k zvýšení mačkovosti textilie. Mačkovost je ovlivněna podmínkami, za kterých je textilie zatížena, ale i podmínkami, ve kterých se zotavuje. Za běžných podmínek se velká část z celkového zotavení projeví v prvních 10 vteřinách po odlehčení. Při zvýšené vlhkosti se průběh zotavení zpozdí. Způsobuje to vlhkost uchovaná v pórech textilie. [23]

## 2.2 Hodnocení mačkovosti plošné textilie

V této části práce jsou uvedeny některé postupy hodnocení mačkovosti plošné textilie. Míra mačkovosti plošné textilie je v práci charakterizována úhlem zotavení. Hodnotu mačkovosti lze vyjádřit několika způsoby. Z nichž je měření úhlu zotavení tím nejčastějším. Zkoušení mačkovosti tkanin pomocí úhlu zotavení, je popsáno například v ČSN 80 0819 [4].

Podstatou zkoušky je zatížení proužku tkaniny o rozměrech 20 x 50 mm závažím o hmotnosti 1 kg. Zatížení trvá 1 hodinu. Po odstranění závaží je změřen úhel zotavení nejprve po 5 minutách a poté po 1 hodině. Úhel zotavení tvoří přehnutá část proužku. Větší úhel zotavení je známkou menší mačkovosti tkaniny. Mačkovost hodnotíme ve směru osnovy i útku zvlášť a to jak na rubu, tak na lici. Podle této normy jsou měření uskutečňovány na přístroji s krytem a je pro ně použito vždy 10 zkušebních vzorků. [4]

Při měření mačkovosti působí na vzorek během zatížení síla  $F$ . Závislost působení síly na čase je zobrazená na obrázku 4a. Na obrázku 4b je popsána závislost úhlu zotavení na čase. Grafy znázorňují průběh deformace proužku textilie. Úhel zotavení nedosahuje hodnoty vyšší než  $180^\circ$ . [10]



Obr. 4: Průběh deformace proužku textilie – podle [10]

### 2.2.1 Objektivní hodnocení mačkovosti textilie v různých směrech [7]

Mačkovost je jednou z nejdůležitějších vlastností textilií pro oděvní aplikace. Pro některé spotřebitele je vzhled oděvu velmi důležitý. Vyžadují oblečení, na kterém by nebylo během nošení znát pomačkání ani vrásky. Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují mačkovost, jsou typ vlákna, struktura materiálu, rozložení tlaku, teploty a vlhkosti při nošení. Hodnocení mačkovosti textilie pouze ve dvou směrech

neodpovídá skutečnému zmačkání textilie během nošení. Většinu textilií lze objektivně hodnotit pomocí etalonů, které představují tzv. vizuální standardy. Nicméně vizuální hodnocení má své nevýhody, je nespolehlivé a časově náročné, z tohoto důvodu bylo vyvinuto několik objektivních metod hodnocení mačkavosti.

Nová objektivní metoda hodnocení mačkavosti snímáním úhlu zotavení textilie zohledňuje jejich anizotropii. Mačkavost textilie je hodnocena ve více směrech. Ve článku (FRIDRICHOVÁ, L., ZELOVÁ, K. [7]) je navržena a popsána nová metoda měření úhlu zotavení pomocí zpracování obrazu. Vzorek látky má kruhový tvar a je odebíráán v mnoha směrech. Autorky porovnávají navržené měření s již známými metodami.

Inovativní způsob hodnocení mačkavosti textilií pomocí měření úhlu zotavení je založen na standardizované metodě ČSN 800919 (EN 31092). Vzorek má půlkruhový tvar o poloměru 4,5 cm. Tento vzorek je upevněn v upínacím systému a zatížen závažím o hmotnosti 1 kg. Doba zatížení vzorku je 5 minut. Ruční měření úhlu zotavení je velmi ovlivněno osobou, která měření realizuje, proto je při uvedeném hodnocení mačkavosti zaměřeno přímé měření úhloměrem za snímání webovou kamerou. Po sejmutí závaží je vzorek snímán webovou kamerou a posléze je obraz zpracováván v programovém prostředí NIS – Elements. K hodnocení je používáno 12 směrů odebírání vzorků z textilie. Okraj vzorku je vždy otočen o 30° vzhledem ke směru osnovy. V článku autorky zkoumali vliv tvaru vzorku na měření úhlu zotavení. Pokud by byly použity vzorky obdélníkového tvaru, tak by pro měření byla potřeba mnohem větší plocha textilie. Dalším důvodem, proč je vhodnější použít půlkruhový vzorek je kroucení vzorku během měření.

Na zpracování obrazu byl použit speciální software, který je schopen změřit úhel zotavení s prodlevou 1 vteřiny. Tato možnost je důležitá pro vyšetřování viskoelastických vlastností textilie. Doporučený vzorec pro výpočet koeficientu mačkavosti v čase 5 minut je uveden v rovnici 17.

$$C_{300} = \frac{\alpha_{300}}{180} [1] \quad (17) [7]$$

-  $\alpha_{300}$  - průměr úhlu zotavení v čase 5 minut

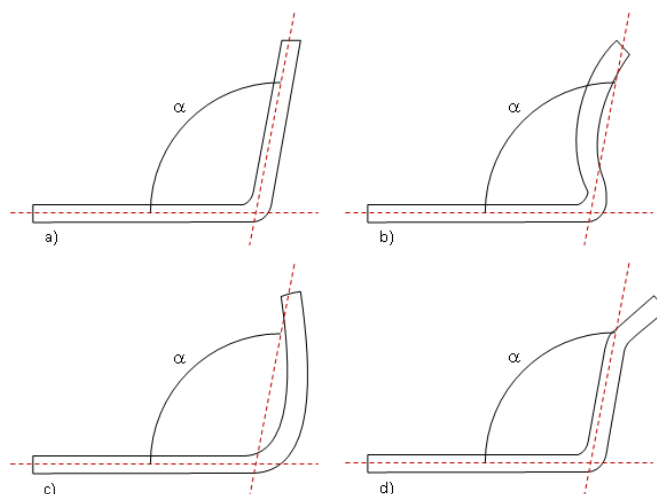
Počet hodnot je 6 pro každý směr. Počet vzorků, kterých je potřeba použít pro výpočet hodnoty koeficientu mačkavosti, je tedy pro všech 12 směrů 72. Hodnota koeficientu mačkavosti se pohybuje v rozmezí hodnot 0 – 1. Pro textilie s malou mačkavostí se hodnota koeficientu blíží 1. Naopak u snadno se mačkajících textilií se hodnota blíží 0.

Podle autorek je možné shrnout výhody této metody do několika bodů. Prvním bodem je to, že je nahrazeno ruční měření úhlu zotavení snímáním úhlu zotavení pomocí web kamery. Dále doporučují použít SOPS software. Reálné chování textilie je simulováno měřením úhlu zotavení v různých směrech s ohledem na osnovní nitě. Výhodou je také použití vzorků kruhového tvaru, protože mají menší tendenci ke kroucení okrajů. Při měření úhlu zotavení touto metodou je možné opakovat měření s prodlevou jedné vteřiny. V uvedeném článku je navržen přesnější vzorec pro výpočet koeficientu mačkavosti 19. Pro vyjádření nového vzorce je použit vážený průměr. Váha je vyjádřena jako  $W$ , jehož výpočet je uveden rovnicí 18.

$$W = \frac{180^\circ - \alpha_{i300}}{180^\circ} \quad (18) \quad [7]$$

$$C_{w300} = \frac{\sum_{i=1}^{12} W_i \alpha_{i300} / \sum_{i=1}^{12} W_i}{180^\circ} \quad (19) \quad [7]$$

Měření probíhá následujícím způsobem. Web kamera snímá úhel zotavení každou vteřinu po dobu deseti vteřin, každou 5 vteřinu od 11 do 60 vteřin a každou minutu od 61 vteřiny do 5 minut. Během 5 minut je zhotoveno 24 snímků. Na těchto snímcích je poté v programu NIS – Elements změřen úhel zotavení. K popsání anizotropie materiálu je při hodnocení mačkavosti použit polární diagram. Na obrázku 5 je popsán tvar, který může mít vzorek během měření úhlu zotavení, a správný způsob měření.

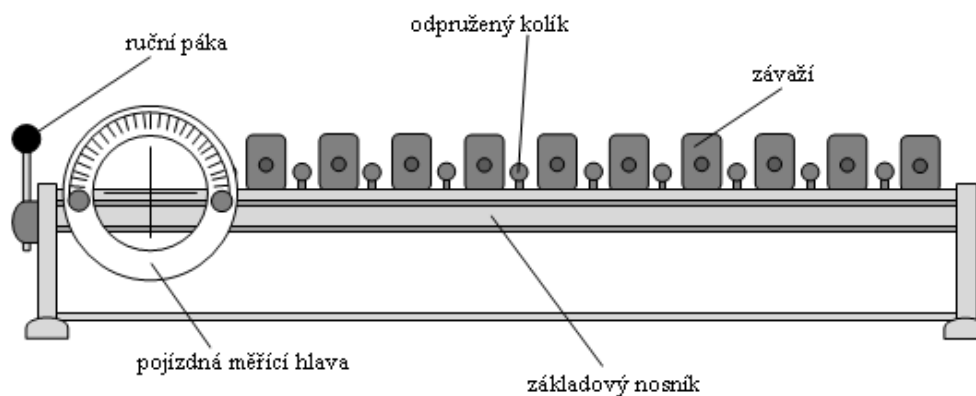


**Obr. 5: Tvar vzorku při měření úhlu zotavení - správný způsob měření; a) rameno vzorku je rovné; b) rameno vzorku je vyduuté; c) rameno vzorku je vypouklé; d) rameno vzorku je částečně rovné a částečně zahnuté - podle [7]**

Tento způsob měření úhlu zotavení je použit v experimentální části práce. Zde je také popsáno na obrázku 13 měření úhlu zotavení snímáním a na obrázku 14 způsob odebrání vzorků z textilie. Způsob měření úhlu zotavení se také nepatrně liší.

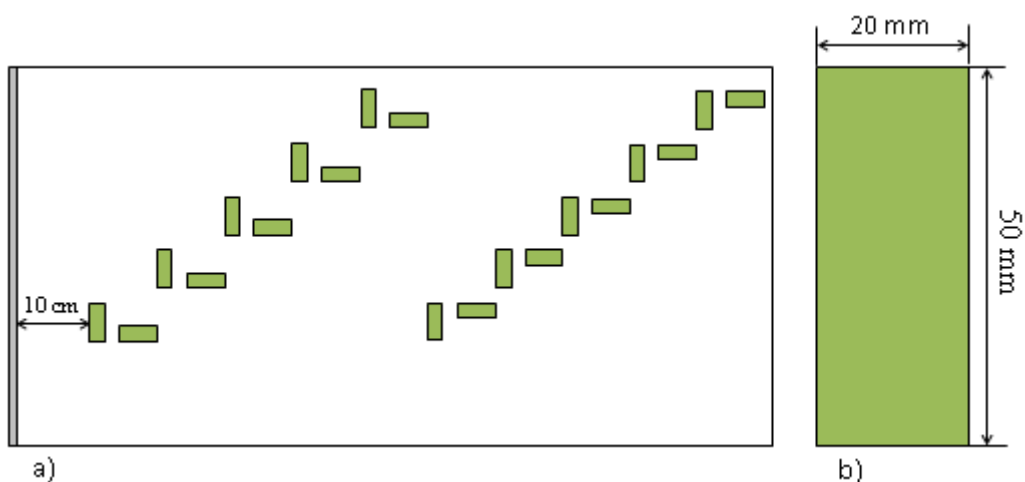
### **2.2.2 Zkoušení mačkovosti plošných textilií na přístroji UMAK (měření úhlu zotavení)**

Další z uvedených metod je metoda měření na přístroji UMAK, který je znázorněn na obrázku 6. Během měření jsou použity vzorky o rozměrech 20 x 50 mm. Velikost vzorku je pro názornost uvedena na obrázku 7b. Zhotovené vzorky jsou nejdříve přeloženy a posléze zatíženy závažím. Vzorek je upevněn v přístroji a po odlehčení je úkolem měřícího změřit úhel zotavení. Úhel zotavení je mírou mačkovosti plošné textilie. Jedná se o úhel, který tvoří dvě ramena vzorku po zatížení závažím a následném odlehčení. [20]



Obr. 6: Přístroj UMAK – podle [6]

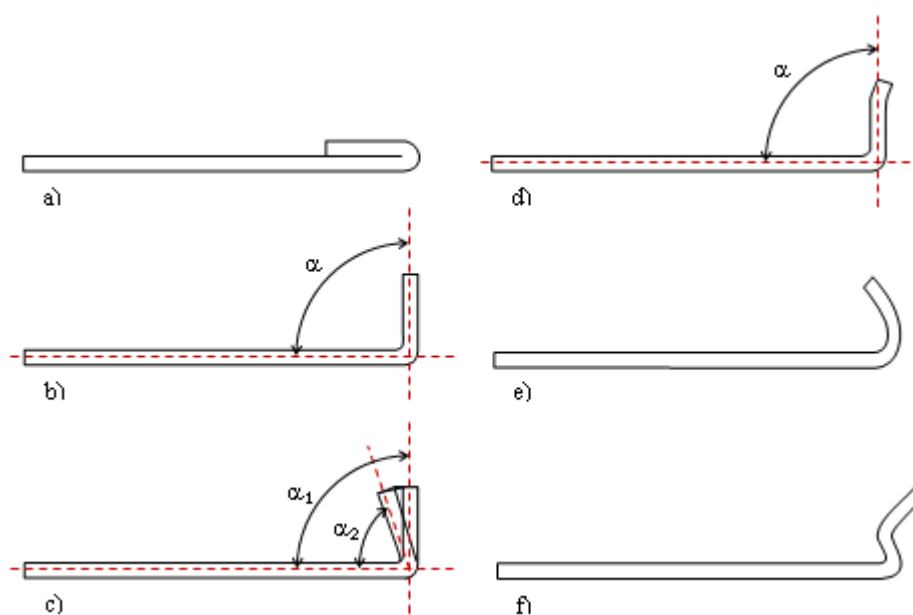
Ze vzorku textilie jsou připraveny zkušební vzorky o uvedených rozměrech. Deset vzorků je vystřiženo v podélném směru (delší strana vzorku je rovnoběžná s podélným okrajem textilie) a deset v příčném směru (delší strana je rovnoběžná s příčným směrem textilie). Vzorky jsou odebírány tak, aby každý vzorek zahrnoval jinou skupinu nití. U některých druhů vazeb je třeba vystříhnout vzorek materiálu větší. Prebytečné nitě na okrajích vzorku je třeba vypárat a přečnávající nitě zastříhnout, aby měl vzorek předepsané rozměry. Vzorky je před měřením nutno klimatizovat. Uspořádání vzorků na textilií je uvedeno na obrázku 7a. [20]



Obr. 7: a) uspořádání vzorků na textilií v měřítku 1:10 – podle [20]; b) velikost vzorku 1:1

Při vlastní zkoušce je vzorek přeložen. Délku přeložení určuje plošná hmotnost textilie. Vzorek je přeložen ve vzdálenosti 5 mm od okraje vzorku při plošné hmotnosti textilie do  $100 \text{ g.m}^{-2}$ , 10 mm při plošné hmotnosti od 100 do  $500 \text{ g.m}^{-2}$  a 15 mm při hmotnosti nad  $500 \text{ g.m}^{-2}$ . Za pomoci pinzety je klimatizovaný vzorek vložen pod

přidržovací lamelu přístroje. Příčný okraj vzorku je rovnoběžný s příčným okrajem lamely. Vzorek je přehnut přes okraj lamely. Přeložená část vzorku je zatížena závažím o hmotnosti 1 kg. Vzniklý ohyb musí být přesně na okraji lamely a na celou plochu přeloženého vzorku musí závaží působit rovnoměrně. Vzorek musí být přeložen přesně po niti i v případě, že na sebe osnova a útek nejsou kolmé. Pět vzorků v každém směru je měřeno po líci (líc je uvnitř přehnutého vzorku) a pět po rubu (líc je vně přehnutého vzorku). Vzorek je během zkoušky zatížen po dobu 60 minut. Šedesát minut po odlehčení nesmí být se vzorkem manipulováno. Po této době je změřen úhel zotavení. Vzorky mohou mít po zotavení 5 různých tvarů, které jsou znázorněny na obrázku 8b) - f). U prvních třech uvedených vzorků lze úhel zotavení změřit. Měření je provedeno u předního i zadního okraje vzorku. Přesnost měření odpovídá  $1^\circ$ . Pokud je spodní část ramena rovná lze úhel změřit. V případě, že má vzorek po zotavení tvar, který je zobrazen na obrázcích e a f, neměří se. Výsledkem měření je ohodnocení slovem vyduťtý nebo vypouklý podle tvaru vzorku. Pokud odpovídají dva z pěti vzorků těmto případům, měření je nutné zopakovat. Ze získaných hodnot je určen aritmetický průměr a ten je následně zaokrouhlen na  $1^\circ$ . [20]



**Obr. 8: : Tvary vzorku po zotavení; b) rameno vzorku je rovné a okraje mají stejný sklon; c) rameno vzorku je rovné, ale každý okraj má jiný sklon; d) spodní část ramena je rovná a horní ohnutá; e) vyduťtý rameno; f) vypuklé rameno – podle [20]**



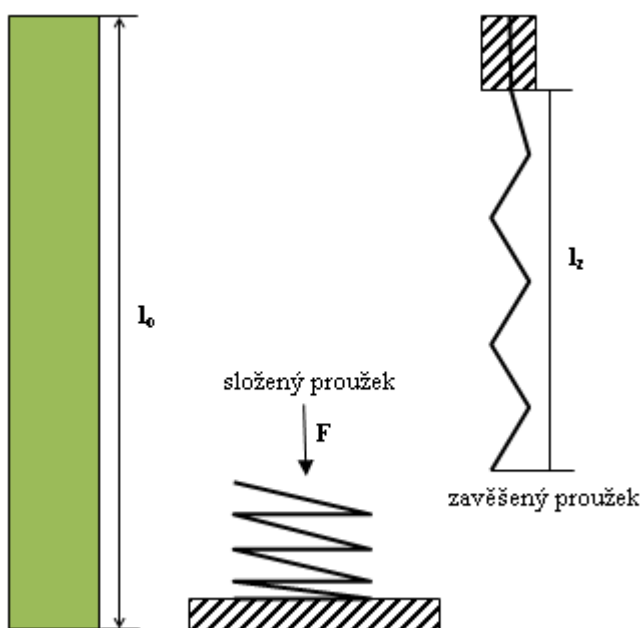
### 2.2.3 Metoda skládaného proužku textilie

Dalším způsobem hodnocení mačkovosti textilie je metoda skládaného proužku. Proužek textilie je složen určeným postupem. Postup je znázorněn na obrázku 9. Poté je zatížen závažím o předepsané hmotnosti na předepsanou dobu. Po uplynutí doby zatížení je proužek textilie upnutý do svorek. Po odlehčení je odečítána časová zněna délky proužku. Mačkovost je při tomto měření vyjádřena relativní hodnotou zotavení. Rovnice pro výpočet relativní hodnoty zotavení je uvedena pod číslem 20. [10]

$$Z = \frac{l_z}{l_o} \cdot 10^2 \quad [\%] \quad (20) \quad [10]$$

-  $l_z$  - délka po zotavení [m]

-  $l_o$  - původní délka proužku textilie [m]



Obr. 9: : Metoda skládaného proužku – podle [10]

### 2.2.4 Metoda AKU

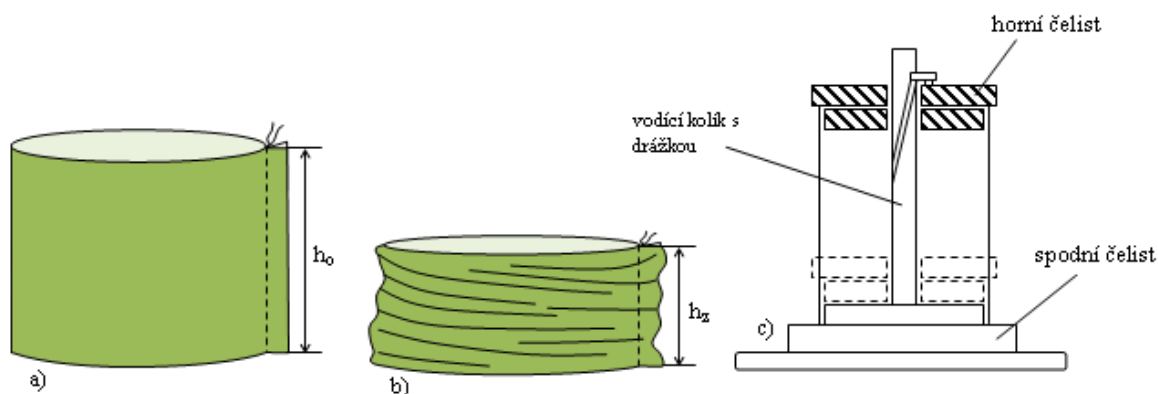
Metoda AKU byla vyvinuta pro zkoušení mačkovosti pletenin. Pleteniny vykazují stáčení okrajů, proto je pro ně metoda AKU vhodnější. Hodnocení mačkovosti pomocí metody AKU lze použít i pro další textilie. Mačkovost je hodnocena na válcovém vzorku. Zkoumaná textilie je nastříhána na potřebný rozměr a posléze sešita. Vzorek je během měření upnutý do dvou kruhových čelistí tak, aby byl lehce napnutý. Na začátku je horní čelist v základní poloze. Středem horní čelisti prochází vodící kolík

s drážkou. Zmíněný kolík je upevněn v dolní čelisti. Během měření je po odletování horní čelist spuštěna ze základní polohy do spodní polohy. V spodní poloze je vzorek zmačkán stlačením a zešikmením. Zešikmení způsobí pootočení čelisti v drážce kolíku. Doba zatížení je dána normou. Po vyjmutí vzorku z čelistí a nechá se určenou dobu zotavit. Po době zotavení je změřena výška vzorku. Zmačkání je vyjádřeno rovnicí 21. Vyjádření zmačkání lze doplnit použitím porovnání vzorku s etalonem. [10] Postup měření je znázorněn na obrázku 10.

$$Z = \frac{h_z}{h_o} \quad (21) \quad [10]$$

-  $h_o$  - původní výška vzorku [m]

-  $h_z$  - výška po zotavení vzorku [m]



Obr. 10: a) vzorek textilie; b) vzorek textilie po době zotavení; c) přístroj pro hodnocení mačkavosti metodou AKU – podle [10]

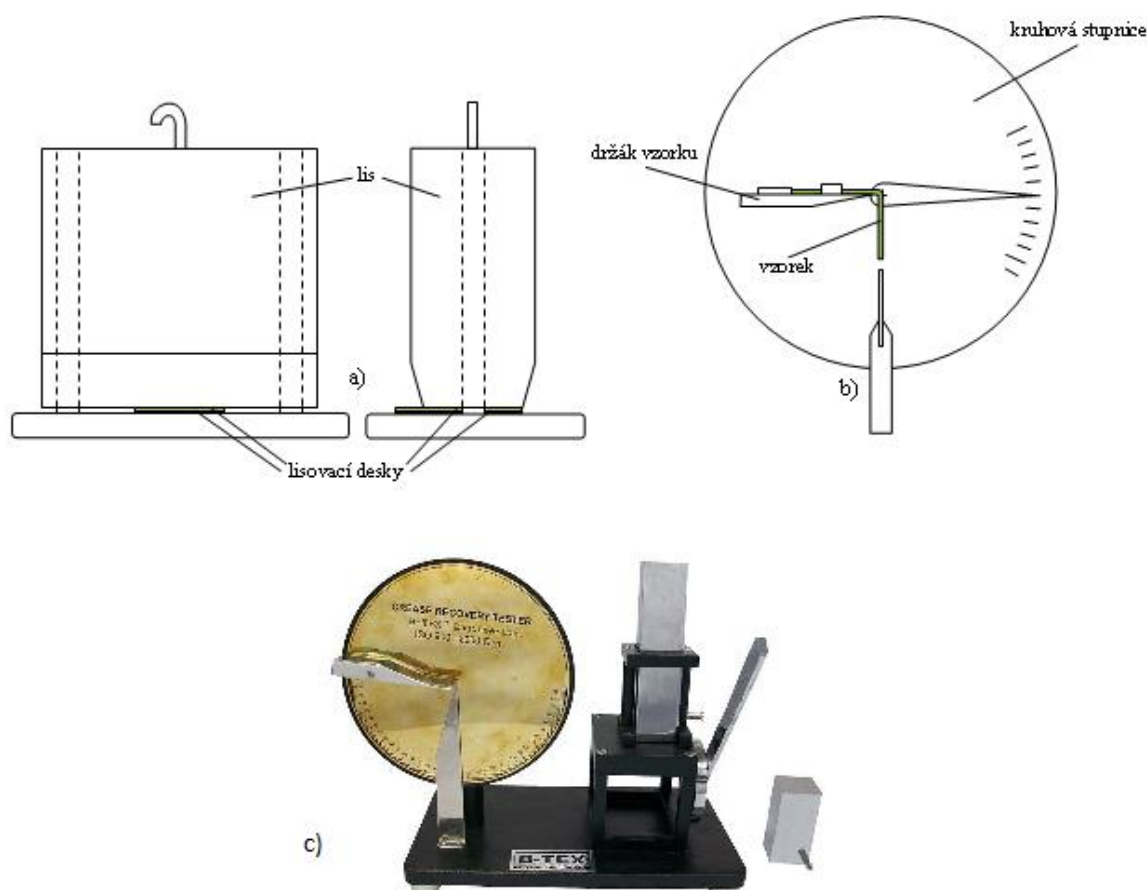
### 2.2.5 Schopnost zotavení horizontálně složeného vzorku (měření úhlu zotavení)

Norma popisuje velikost úhlu zotavení jako míru schopnosti plošné textilie se zotavit po náhodném pomačkání. Výsledky měření na jednotlivých textiliích spolu lze navzájem srovnávat. U některých druhů plošných textilií lze zjistit úhel zotavení velmi obtížně. Jedná se například o ohebné a tlusté textilie a textilie se sklonem ke kroucení. [5]

Zhotovené vzorky předepsaných rozměrů jsou připevněny do zařízení pro zatěžování vzorků. Po krátký interval, který odpovídá 5 minutám, jsou vystaveny stanovenému zatížení. Po odstranění zatížení je vzorek pomocí pinzety připevněn do

přístroje pro měření úhlu zotavení. Zde je vzorek umístěn stanovenou dobu (5 minut) a poté je na něm změřen úhel zotavení textilie. V době kdy je vzorek umístěn v držáku, musí být volné rameno stále ve svislé poloze, proto je přístroj neustále nastavován. Pokud se rameno kroutí nebo svinuje, k změření je použita rovina, která prochází osou stupnice a středem ramene. [5]

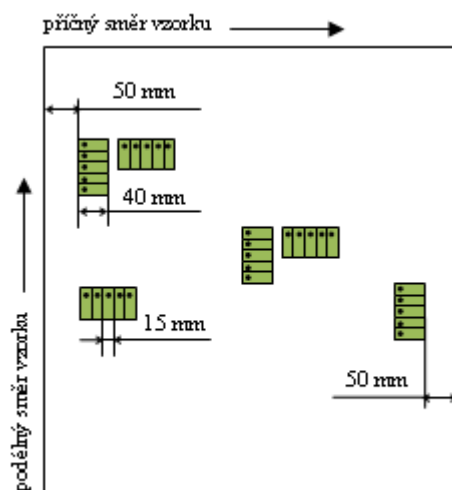
Zařízení pro zatěžování vzorků se skládá z lisu, který působí silou 10 N na plochu složeného vzorku o velikost 15 x 15 mm a dvou plochých lisovacích desek. Na spodní desce je pro snadnou manipulaci vyznačeno umístění vzorku. Přístroj je popsán na obrázku 11a a 11c. Přístroj na měření úhlu zotavení se skládá z kruhové stupnice, která umožňuje odčítání úhlu s přesností na 1° a držáku vzorku. Přístroj je popsán na obrázku 11b. [5]



Obr. 11: Měření úhlu zotavení horizontálně složeného vzorku; a) zařízení pro zatěžování vzorku, b) přístroj na měření úhlu zotavení – podle [5]; c) CREASE RECOVERY TESTER [1]

Na obrázku 12 je zobrazen příklad odběru vzorků. Vzorky jsou pravoúhlé o velikosti 40 x 15 mm. Pro zkoušku je použito 20 vzorků, pokud není dohodnuto jinak.

Polovina připravených vzorků je odebrána tak, že jejich kratší strana je rovnoběžná s osnovou (sloupkem u pleteniny) a u druhé poloviny vzorků je kratší strana rovnoběžná s útkem (s řádkem u pleteniny). Vzorky jsou klimatizovány podle normy a zkouška probíhá za stanovených podmínek. [5]



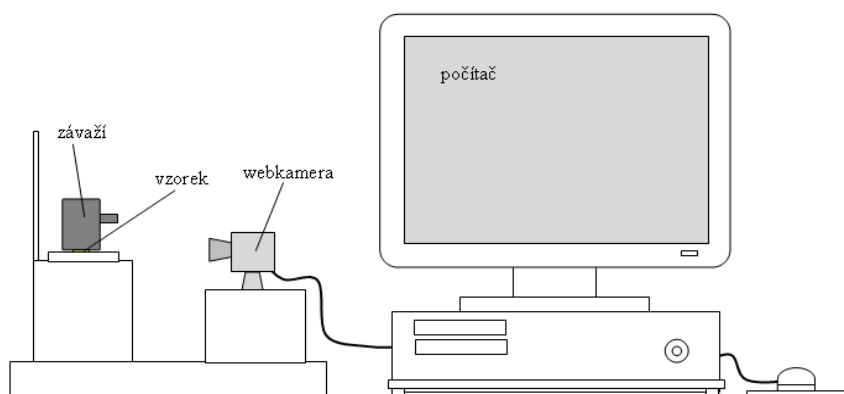
Obr. 12: Příklad umístění vzorků na textilií – podle [5]

### 3 Experimentální část

Cílem experimentu je určit vliv uvedených parametrů textilie na její mačkavost a vytvoření regresního modelu pro predikci mačkavosti textilie. První částí experimentu je měření mačkavosti textilie popsané v části 3.1. Pro měření úhlu zotavení byla použita nová objektivní metoda hodnocení mačkavosti snímáním úhlu zotavení textilie. Podstata měření je uvedena v kapitole 2.2.1 a popis měření je uveden v kapitole 3.1. Naměřené hodnoty jsou dále statisticky zpracovány. V kapitole 3.2 jsou popsány textilie použité při experimentu. Kapitola 3.3 je zaměřena na jednorozměrnou. Diagramy v kapitole 3.4 „Vliv vazby a dostavy na anizotropii mačkavosti textilie“ vypovídají o velikosti vlivu uvedených parametrů textilie na její mačkavost. Tyto grafy zohledňují anizotropii, kterou rozhodně nelze zanedbat. Potvrdí, popřípadě vyvrátí předpoklad, že ji daný parametr textilie ovlivňuje. Kapitola 3.5 se zaměřuje na vícerozměrnou analýzu dat, kterou je nezbytné zařadit do práce před samotnou tvorbou statistického modelu. 3.6 pojednává o tvorbě lineárního regresního modelu a jeho použití pro účely této práce.

#### 3.1 Zaměření experimentu

Experiment je zaměřen na predikci mačkavosti textilie. Mačkavost textilie je v práci charakterizována hodnotou úhlu zotavení textilie. V první fázi experimentu byla naměřena data potřebná k jeho realizaci. Dále je uveden popis použité metody měření úhlu mačkavosti textilie. Tato inovativní metoda spočívá v měření úhlu zotavení pomocí webkamery. Vzorek je upevněn do svorky a přeložen. Poté je zatížen závažím. Po sejmutí závaží webkamera snímá úhel zotavení  $\alpha$ . Měření je podrobněji popsáno v části 2.2.1.

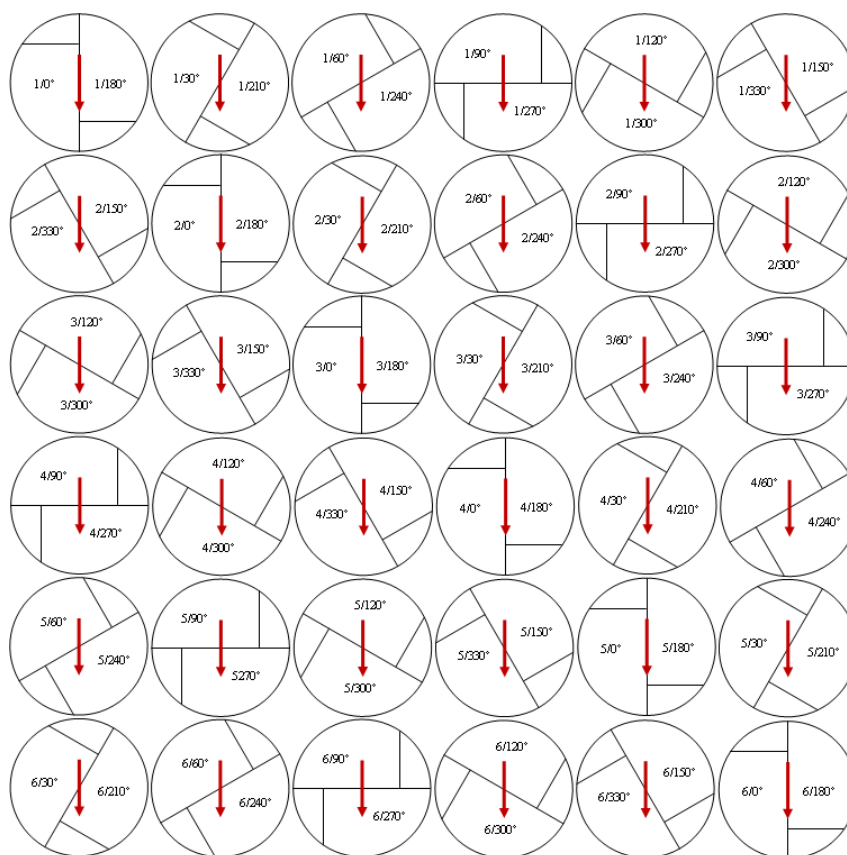


**Obr. 13: Měření úhlu zotavení snímáním**

Vzorky jsou z testované textilie zhotovovány tak, aby měření co nejvíce odpovídalo zmačkání textilie při jejím užívání. Schéma odebrání vzorků z textilie je uvedeno na obrázku 14. Měřeno je celkem 72 vzorků. Vzorky mají tvar půlkruhu o průměru 4,5 cm. Vzorky jsou na materiál nakresleny jako kruhy v 6 řadách a 6 sloupcích. Z textilie jsou odebrány pod různými úhly. Místo přehnutí je na vzorku označeno jako kolmice k přímce, která svírá daný úhel s osnovou, ve vzdálenosti 1 cm od okraje. Velikost úhlu je  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $210^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $270^\circ$ ,  $300^\circ$  a  $330^\circ$ .

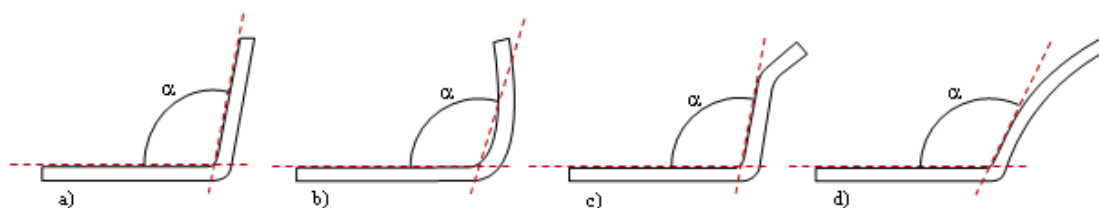
Popis měření je uveden na obrázku 13. Úhel zotavení je zjišťován na 6 vzorcích pro každý úhel. Vzorek je zatěžován závažím po dobu 5 minut. Po sejmutí závaží se začne vzorek zotavovat. Kamera snímá úhel zotavení v první vteřině po odstranění závaží a pak každou další vteřinu po dobu 10 vteřin. Dalších deset snímků následuje v intervalech dlouhých 5 vteřin. Dvacátý snímek vzniká po 1 minutě a následují po něm další čtyři v minutovém intervalu. Součástí měřicího zařízení je webkamera, zařízení pro upnutí vzorku, závaží a počítač. Nasnímané fotografie se ukládají v počítači pro následné vyhodnocení.

K vyhodnocení je použit program Nis Elements AR, který umožňuje měření úhlu zotavení z fotografií, které jsou snímány webkamerou. Získaná data lze exportovat pro další zpracování. Pro získání objektivních výsledků měření je důležité dodržovat správný postup. Tvar vzorku při měření může být odlišný. Měření úhlu zotavení u jednotlivých tvarů vzorku je uvedeno na obrázku 15. Tento způsob měření se liší od měření popsáno v části 2.1.1 a to ze zcela praktických důvodů.



Obr. 14: Uspořádání vzorků na textilií

Velikost úhlu zotavení odpovídá velikosti úhlu, který svírají ramena vzorku v případě, že volné rameno je rovné. V případě, že rameno není rovné, měříme úhel zotavení jako úhel, který svírá upnuté rameno vzorku a tečna k volnému ramenu. Tuto metodu hodnocení používáme z toho důvodu, že chceme zjistit úhel zotavení v bodě upnutí.



Obr. 15: Způsob měření úhlu zotavení pro různé tvary vzorku, který jsme z praktických důvodů použili při měření v experimentální části, a) rovné rameno vzorku, b) vypouklé rameno vzorku, c) rameno vzorku je rovné, pouze jeho konec je zahnutý, d) vyduuté rameno vzorku

### 3.2 Charakteristika materiálů

V tabulce 1 je uvedena charakteristika osmi materiálů. Dále je uvedena jednorozměrná analýza těchto dat. Pro vytvoření regresního modelu jsem použila i jiná


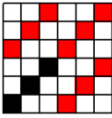
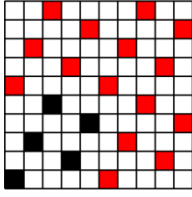
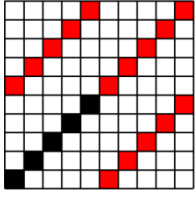
data, která mi byla poskytnuta pro účely této diplomové práce Ing. Katarínou Zelovou. Na základě měření úhlu zotavení textilie byly, pro zmíněných osm materiálů vytvořeny polární diagramy v kapitole vliv vazby a dostavy na anizotropii mačkovosti textilie. Tyto diagramy zobrazují jaký vliv má na mačkovost vazba a dostava útkových nití daného materiálu v různých směrech odběru vzorku.

**Tab. 1: Charakteristika použitých materiálů – materiálové složení, vazba, jemnost osnovních nití, jemnost útkových nití, dostava osnovy, dostava útku, plošná hmotnost, tloušťka textilie**

Materiál číslo	Materiálové složení	Vazba	To [tex]	Tú [tex]	Do [n./10cm]	Dú [n./10cm]	Mp [g/m <sup>2</sup> ]	h [mm]
M37	100% CO	plátno	40	33	240	220	171,7	0,38
M38	100% CO	atlas	40	33	240	220	168,6	0,57
M39	100% CO	kepr ½	40	33	240	220	169,9	0,21
M40	100% CO	kepr ¼	40	33	240	220	168,5	0,56
M41	100% CO	plátno	40	33	240	200	166,1	0,19
M42	100% CO	atlas	40	33	240	200	160,7	0,35
M43	100% CO	kepr ½	40	33	240	200	163,3	0,22
M44	100% CO	kepr ¼	40	33	240	200	160,0	0,35

Textilie se liší vazbou, dostavou útkových nití, plošnou hmotností a tloušťkou. Polární diagramy a křivky zotavení pro jednotlivé materiály jsou uvedeny v příloze 1. V tabulce 2 jsou zakresleny vzornice uvedených vazeb. Materiálové složení se u všech textilií shoduje, jsou vyrobeny ze stoprocentní bavlny. Materiálové složení má na mačkovost textilie vliv, ale je složité ho kvantitativně vyjádřit. Hodnotou, která popisuje materiálového složení textilie, by mohla být například hustota materiálu, ze kterého je textilie vyrobena.

**Tab. 2: Vazby materiálů; a) plátno; b) kepr ½; c) atlas; d) kepr ¼**

Vazba	a) plátno	b) kepr ½	c) atlas	d) kepr ¼
Vzornice vazby				



Pro naše účely jsme proto použily textilie se stejným materiálovým složením. Všechny uvedené textilie jsou tkaniny. Použity jsou čtyři různé vazby plátňová, atlasová a dvě různé keprové vazby. Dále se liší dostava útku. U první poloviny tkanin je počet útkových nití na 10 cm 220 a u textilií M41 až M44 je počet útkových nití 200 n/10cm. Plošné hmotnosti textilií a jejich tloušťky jsou samozřejmě rozdílné.

### 3.3 Statistické zpracování souboru dat – jednorozměrná analýza [13], [14]

Náhodnou veličinou, která bude dále statisticky zpracována, je hodnota úhlu zotavení. Data byla získána měřením popsáním v kapitole 3. 1. Předpokladem je, že data mají normální rozdělení pravděpodobnosti. V tabulce 3 jsou uvedeny odhady důležitých charakteristik, které poskytují informaci o chování náhodné veličiny.

Hodnota, kolem které se kumulují hodnoty náhodné veličiny  $X$ , je nazývána střední hodnotou  $EX$ . Jejím odhadem je výběrový průměr, výpočet je uveden v rovnici 22. Největší průměrné hodnoty úhlu zotavení byly naměřeny u materiálů M42 a M44, což jsou materiály s nejmenší plošnou hmotností. V další části experimentu zjistíme, jestli je tato skutečnost pouze náhodou.

$$\overline{X_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (22)$$

Další Důležitou charakteristikou náhodného výběru je rozptyl, vyjádřený rovnicí 23. Rozptyl neboli druhý centrální moment je střední kvadratickou odchylkou náhodné veličiny od její střední hodnoty. Lze jej popsat jako rozptýlení hodnot náhodné veličiny kolem její střední hodnoty. Největšími hodnotami rozptylu se vyznačují materiály s keprovou vazbou 1/4. Je to dáno větší anizotropií těchto textilií oproti ostatním textiliím.

$$\text{var } X = E(X - EX)^2 \quad (23)$$

Jeho odhadem je výběrový rozptyl vyjádřený rovnicí 24. Druhou odmocninou z rozptylu je směrodatná odchylka.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \overline{X_n})^2 \quad (24)$$

Šikmost představuje odchylku rozdělení od symetrie kolem střední hodnoty. Pro její vyjádření je použit třetí centrální moment. Nabývá záporné i kladné hodnoty. Šikmost nabývá nulové hodnoty v případě, že jsou hodnoty náhodné veličiny rovnoměrně rozděleny nalevo i napravo od střední hodnoty. Tato situace nastává i v případě normálního rozdělení. Šikmost má zápornou hodnotu v případě, je-li rozdělení protáhlé doprava a naopak kladnou hodnotu má, je-li protáhnuté doleva. Jinými slovy kladných hodnot šikmost nabývá v případě, že se odlehlejší hodnoty vyskytují vpravo od střední hodnoty. Lze podle ní usuzovat, jak velké vzhledem k střední hodnotě budou medián a modus. Budou-li tyto hodnoty větší nebo menší než střední hodnota. Pomocí této hodnoty lze určit tvar rozdělení, ale je významně ovlivněna nejvyšší a nejnižší hodnotou souboru. Šikmost je vyjádřena vztahem 25, kde  $\mu_3$  označuje třetí centrální moment. Vztah pro výpočet koeficientu šikmosti je uveden rovnicí 26.

$$\alpha_3 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (25)$$

$$\alpha_3 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{s^3} \quad (26)$$

Špičatost určuje, jak jsou uspořádány hodnoty náhodné veličiny kolem její střední hodnoty. Čím větší je hodnota špičatosti, tím více jsou hodnoty soustředěny kolem střední hodnoty. Jinými slovy je-li špičatost kladná, je většina hodnot soustředěna kolem střední hodnoty a pokud je záporná jsou hodnoty rozmístěny více rovnoměrně. Pro normální rozdělení je hodnota špičatosti rovna 3. Koeficient špičatosti můžeme popsat vztahem 27, kde  $\mu_4$  označuje čtvrtý centrální moment. Vztah pro výpočet koeficientu šikmosti je uveden rovnicí 28. V programovém prostředí QCExpert byla jako významná označena špičatost pro hodnoty náhodné veličiny materiálu M40.

$$\alpha_4 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} \quad (27)$$

$$\alpha_4 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{s^4} \quad (28)$$

Medián je 50% kvantil. Dělí hodnoty náhodné veličiny na dvě poloviny. Výhodou mediánu oproti výběrovému průměru je v tom, že nepodléhá chybě působené odlehlými hodnotami. Výběrový medián lze vyjádřit vztahem 29.

$$\hat{X} = X_{\frac{n+1}{2}} \text{ nebo } \hat{X} = \frac{1}{2}(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}) \quad (29)$$

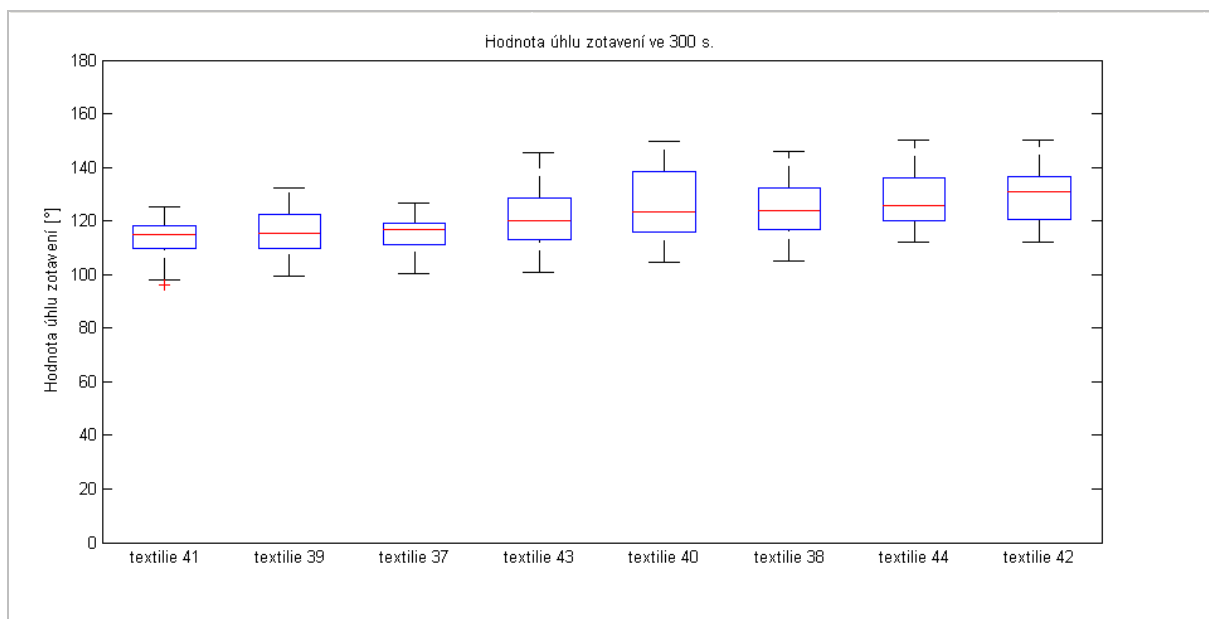
Modus je v diskretním rozdělení nejčastější vyskytující se hodnota a v diskretním rozdělení je možné označit jako modus každý lokální extrém pravděpodobnostní funkce. Variační koeficient vyjadřuje procento nesourodosti souboru. Lze jej vyjádřit vztahem 30.

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 [\%] \quad (30)$$

**Tab. 3: Data získaná pomocí statistického softwaru QCExpert, průměr, rozptyl, směrodatná odchylka, šikmost, špičatost, medián, modus, IS spodní, IS horní, variační koeficient**

Parametr/textilie	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44
Průměr [°]	115,36	124,77	116,11	126,74	113,66	129,25	121,60	127,99
Rozptyl [°²]	35,03	91,56	77,30	162,90	47,771	86,56	104,43	102,75
Směrodatná odchylka [°]	5,92	9,57	8,79	12,76	6,91	9,30	10,22	10,14
Šikmost	-0,56	0,14	-0,04	0,11	-0,54	0,06	0,29	0,14
Špičatost	2,70	2,06	2,06	1,64	2,90	1,97	2,38	1,88
Medián [°]	116,66	123,94	115,45	123,26	114,99	130,87	119,86	125,89
Modus [°]	119,17	122,32	114,15	116,49	117,59	134,01	116,47	121,79
IS spodní [°]	114,64	119,92	111,55	115,51	112,54	126,49	115,26	120,17
IS horní [°]	118,67	127,96	119,34	130,99	117,45	135,24	124,46	131,60
Variační koeficient [%]	5,13	7,67	7,57	10,07	6,08	7,20	8,40	7,92

Na obrázku 16 je znázorněn box-plot. Krabicový graf vznikl v programovém prostředí MATLAB R2009b. Červenou linkou je uprostřed box-plotu označen medián. Výhodou použití mediánu oproti aritmetickému průměru je, že není tak citlivý na hrubé chyby (velké odchylky několika hodnot). Spodní a vrchní hrana box-plotu označují dolní a horní kvartil. Vousy grafu označují maximální a minimální hodnotu daného datového souboru kromě odlehlých pozorování. Odlehlá pozorování jsou označena červeným křížkem. Vzhledem k objektivnosti zpracování dat by bylo možné odlehlá pozorování nezapočítávat. Za určitých okolností lze přistoupit k vyřazení pozorování. Pokud nedojde k výraznému zmenšení souboru.



Obr. 16: Box – plot: Hodnota úhlu zotavení ve 300 s. – textilie 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44

Graf po odstranění odlehlých pozorování je zobrazen v příloze 2. K vytvoření každého z diagramů bylo použito 72 hodnot úhlu zotavení  $\alpha_{300}$ . Konkrétně se jedná o 6 měření v každém z dvanácti směrů odebrání vzorku z textilie. Podle zobrazených krabicových grafů je textilie s nejmenší mačkovostí M42 a naopak materiálem s největší mačkovostí je M41. Větším rozptylem dat se vyznačují textilie s keprovou vazbou M39, M40, M43, M44. Vliv na rozptyl má nesporně způsob odebrání vzorků z textilie. U keprových a atlasových vazeb je mačkovost v různých směrech vzhledem ke směru osnovních nití rozdílná. Z hlediska posouzení vlivu vlastností textilie na její mačkovost nemá tento graf takovou vypovídací hodnotu jako dále uvedené polární diagramy.

### Diagnostické grafy

V programu QC.Expert 2.5 byly zhotoveny diagnostické grafy. Pomocí těchto grafů byla provedena průzkumová analýza dat. Lze podle ní určit stupeň symetrie rozdělení, lokální koncentrace dat a vybočující data. Pokud jsou v datovém souboru nějaké zvláštnosti v statistickém chování dat, je potřeba odhalit a upravit soubor tak, aby soubor odpovídal původním předpokladům. Vybočující body lze z dalšího zpracování vyloučit, nezmenší-li se významně velikost souboru. Mezi diagnostické grafy patří histogram, krabicový graf, Q – Q Graf, P – P Graf a další. V úvodu experimentální části je z těchto grafů krabicový graf. Který poskytuje čtenáři lepší přehled v naměřených hodnotách. Popis dalších diagnostických grafů, diagnostické

grafy vygenerované v programu QC.Expert a popis interpretace zmíněných grafů jsou uvedeny v příloze číslo 3.

### Diagnosticke testy

Reprezentativní náhodný výběr splňuje 4 základní kritéria. Za prvé musí být jeho jednotlivé prvky vzájemně nezávislé. Dále musí být výběr homogenní. To znamená, že jeho prvky pocházejí z jednoho rozdělení s konstantním rozptylem a žádné z jeho prvků nevybočují. Třetí podmínkou reprezentativnosti výběru je jeho normalita. Předpokládáme, že se hodnoty výběru přibližují normálnímu rozdělení. Všechna data souboru musí mít stejnou šanci na vybrání do výběru.

#### Test normality – ověření normality výběru

Data v reálném světě nevykazují normální rozdělení, ale více či méně se tomuto rozdělení přibližují. Test normality určuje, jak moc se rozdělení zkoumaných dat přibližuje normálnímu rozdělení. Realizace testu normality je bez počítačového softwaru velmi časově náročná. Test normality rozdělení náhodné sledované veličiny je založen na porovnání skutečných naměřených dat a očekávaných dat. Pro ověření normality datového souboru je použit test kombinace výběrové šikmosti a špičatosti.

Testována je nulová hypotéza, že naměřená data mají přibližně normální rozdělení, oproti hypotéze, že data mají jiné než normální rozdělení, na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

Testovací kritérium je definováno vztahem 31:

$$V = \frac{a_3^2}{\text{var}(a_3)} + \frac{[a_4 - E(a_4)]^2}{\text{var}(a_4)} \quad (31)$$

-  $a_3$  - šikmost

-  $a_4$  - špičatost

-  $E(a_4)$  - střední hodnota špičatosti, kterou lze vypočítat ze vztahu 32:

$$E(a_4) = 3 - \frac{6}{n+1} \quad (32)$$

Hypotézu je nutné zamítnout v případě, že  $|V| > \chi_{1-\alpha}^2(2)$  je nutné hypotézu  $H_0$  zamítnout.

- var ( $a_3$ ) - rozptyl šikmosti je dán rovnicí 33.

$$var(a_3) = \frac{6(n-2)}{(n+1)(n+3)} \quad (33)$$

- var ( $a_4$ ) – rozptyl špičatosti je popsán rovnicí 34.

$$var(a_4) = \frac{24n(n-2)(n-3)}{(n+1)^2(n+3)(n+5)} \quad (34)$$

V programu QC.Expert byl proveden test normality naměřených dat. Pro naměřená data u všech osmi materiálů byla podle výsledků testu normalita přijata.

### Ověření nezávislosti dat souboru

Závislost dat způsobuje například změna podmínek měření s časem. Nezávislost dat se testuje pomocí tzv. testů autokorelace. Dále může být závislost způsobena nestabilitou měřicího zařízení, nekonstantními podmínkami při měření, zanedbáním působení okolí na vzorek při měření, nesprávným výběrem vzorků a časovou závislostí prvků výběru. Nulovou hypotézou je v tomto případě tvrzení, že všechny prvky výběru jsou navzájem nezávislé, to znamená, že autokorelační koeficient  $\rho$  je roven nule. Pro autokorelaci prvního řádu se používá tzv. von Neumannův poměr, který je vyjádřený vztahem 35, testy jsou prováděny na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (35)$$

Testovací kritérium  $t_n$  je vyjádřeno rovnicí 36.

$$t_n = \frac{T_1 \sqrt{n+1}}{\sqrt{1-T_1}} \quad \text{kde} \quad T_1 = \left(1 - \frac{T_1}{2}\right) \sqrt{\frac{n^2-1}{n^2-4}} \quad (36)$$

Test popisuje autokorelaci 1. řádu. Z výsledku vyplývá, že prvky na sobě nejsou nezávislé. Je to způsobeno postupem měření. Při měření bylo zařazeno vždy 6 vzorků se stejným směrem odebrání  $\theta$  po sobě. To způsobilo, že test poukazuje na závislost prvků.

### Test homogeneity

Datový soubor je homogenní v případě, že všechny jeho prvky pocházejí ze stejného rozdělení s konstantním rozptylem. Existuje celá řada testů a postupů pro

určení homogenity datového souboru. Homogenita bude určena pomocí tzv. vybočujících bodů. Tyto body lze rozeznat pomocí diagnostických grafů. Liší se od ostatních bodů svou velikostí. Předpokládá se, že data mají normální rozdělení, kromě vybočujících. K určení vybočujících bodů se používá tzv. modifikace dolní vnitřní  $B_D$  37 a horní vnitřní hradby  $B_H$  38.

$$B_D = \tilde{x}_{0,25} - K(\tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25}) \quad (37)$$

$$B_H = \tilde{x}_{0,25} + K(\tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25}) \quad (38)$$

U všech osmy materiálů byla homogenita přijata.

### Určení minimální velikosti datového souboru

Určení minimální velikosti datového souboru je důležité z toho důvodu, že počet  $n$  prvků výběru ovlivňuje přesnost odhadů parametrů polohy. Pomocí chyby relativní směrodatné odchylky  $\delta(s)$  lze určit minimální velikost datového souboru jako ve vztahu 39.

$$n_{min} = \frac{a_4(x) - 1}{4\delta^2(s)} + 1 \quad (39)$$

-  $a_4(x)$  - špičatost

-  $\delta(s)$  - 0,1

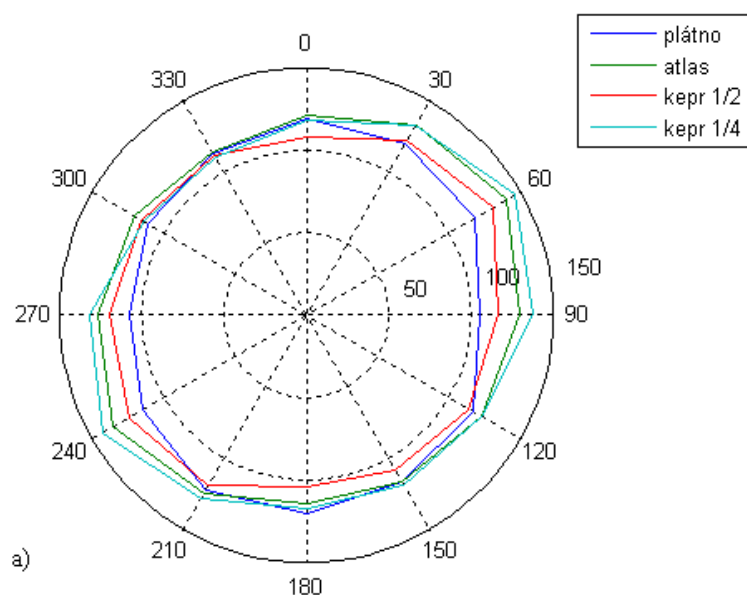
Velikost směrodatné odchylky pro normální rozdělení je 3. To znamená, že minimální velikost datového souboru tohoto rozdělení by měla mít více než 51 hodnot. Datový soubor naměřených hodnot úhlu zotavení toto kritérium splňuje. Podrobné vyhodnocení grafů a diagnostických testů je uvedeno spolu s příslušnými grafy v příloze 3.

### 3.4 Vliv vazby a dostavy na anizotropii mačkovosti textilie

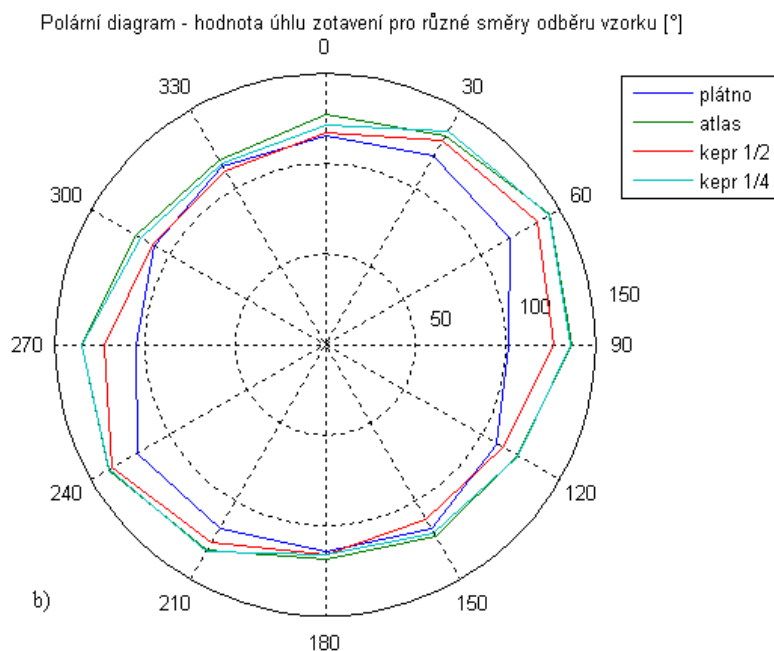
Úhel, který svírají osnovní nitě s okrajem odebíraného vzorku, bude dále označován jako úhel  $\theta$ . Na polárním diagramu je znázorněna průměrná velikost úhlu zotavení (vypočtená z měření na šesti různých vzorcích se stejným úhlem  $\theta$ ) po 300 sekundách relaxace textilie  $\alpha_{300}$  vzhledem k úhlu  $\theta$ . Diagramy pro jednotlivé materiály jsou, stejně jako křivky zotavení těchto materiálů, uvedeny v příloze číslo 1.

Na obrázku 17 jsou uvedeny dva polární diagramy. Je na nich zřetelný vliv vazby na úhel zotavení textilie. První diagram je pro textilie s dostavou útku 220 n/10cm a druhý pro dostavu útku 200 n/10cm. Modře jsou na diagramu vyznačeny hodnoty  $\alpha_{300}$  pro plátňovou vazbu, zeleně hodnoty  $\alpha_{300}$  pro atlasovou vazbu, červeně hodnoty  $\alpha_{300}$  pro kepr 1/2 a tyrkysově pro kepr 1/4. Z diagramů je zřejmé, že vazba má vliv na mačkavost textilie. Hodnota úhlu zotavení se u plátňové vazby pro různé úhly  $\theta$  příliš neliší. Naproti tomu u vazby kepr 1/4 nebo atlasové vazby je hodnota  $\alpha_{300}$  pro  $\theta_{60}$  znatelně větší než hodnota  $\alpha_{300}$  pro  $\theta_{150}$ . Z grafu je zřetelný vliv vazby na velikost úhlu zotavení textilie v různých směrech odebrání vzorku.

Polární diagram - hodnota úhlu zotavení pro různé směry odběru vzorku [°]

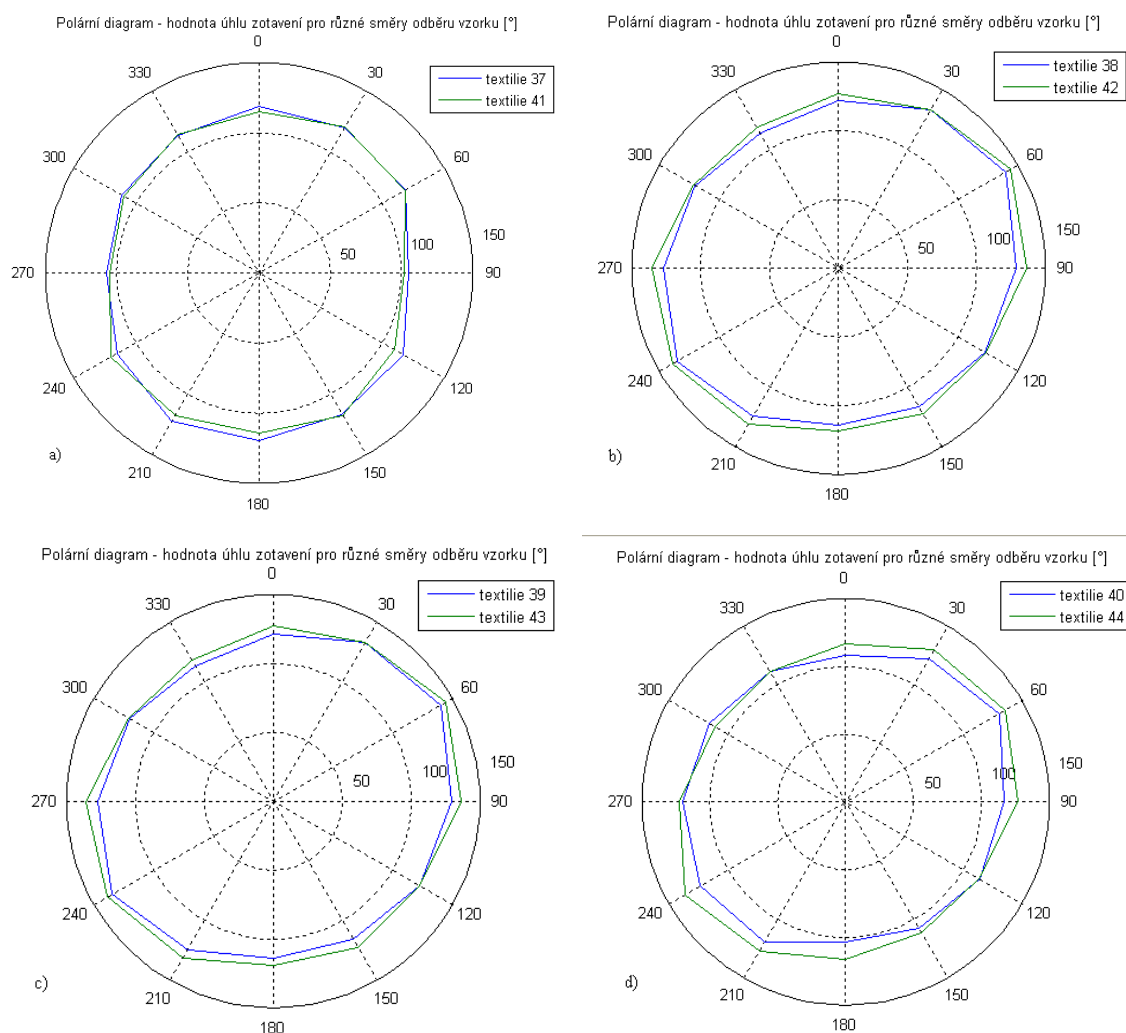






**Obr. 17: a) Polární diagram pro textilie M37, M38, M39, M40; b) Polární diagram pro textilie M41, M42, M43, M44**

V na obrázku 18 jsou čtyři polární digramy pro každou vazbu. Zeleně jsou na diagramech vyznačeny hodnoty  $\alpha_{300}$  pro materiály s dostavou útku 200 n/10cm a modře pro materiály s dostavou 220 n/cm. Na diagramu a) pro plátnovou vazbu je změna hodnot úhlu zotavení nepatrná a vliv změny dostavy útku zde tedy není prokazatelný. Na keprové a atlasové vazbě, byla po zmenšení dostavy útkových nití, menší mačkavost ve směru útku.



**Obr. 18:** a) polární diagram M37, M41 – plátňová vazba; b) polární diagram M38, M42 – atlasová vazba; c) polární diagram M39, M43 – vazba kepr 1/2; d) polární diagram M40, M44 – vazba kepr ¼

### 3.5 Statistické zpracování datového souboru - vícerozměrná analýza

Tato kapitola přímo navazuje na rešeršní část práce. Pro další zpracování jsou použita data získaná měřením úhlu zotavení, výsledky měření byly zpracovány v předcházející kapitole. Pro tvorbu statistického modelu je potřeba použít více měření, proto jsou uvedeny dalších 8 materiálů. Pro tvorbu modelu bude v dalším zpracování dat kromě úhlu zotavení textilie uvažováno, těchto 8 veličin: dostava útku, plošná hmotnost, tloušťka textilie, ohybová tuhost, ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze při smyku 0,5°, smykový moment hystereze při smyku 5°. Tyto charakteristiky pro potřeby práce poskytla Ing. Katarína Zelová. Dále pro účely práce poskytla výsledky dalších měření. Důvodem této spolupráce je

časová náročnost měření. V tabulce 7 jsou zaznamenány hodnoty uvedených veličin, které budou použity pro vícerozměrnou analýzu.

**Tab. 4: Data pro vícerozměrnou analýzu - materiály M33 – M48 (data poskytnutá K. Zelovou [24])**

Materiál	Vazba	To [Tex]	Tu [Tex]	Do [n/10cm]	Dú [n/10cm]	Mp [g/m <sup>2</sup> ]	h [mm]	B x 10 <sup>-4</sup> [Nm <sup>2</sup> /m]	2HB x 10 <sup>-2</sup> [Nm/m]	G [N/m.deg]	2HG [N/m]	2HG5 [N/m]	$\alpha$ [°]
M33	plátno	40	33	240	240	181,9	0,4	0,1836	0,2189	3,28	7,89	8,30	113,62
M34	atlas	40	33	240	240	178,8	0,58	0,1053	0,0878	0,52	0,95	1,31	124,45
M35	kepr ½	40	33	240	240	176,6	0,2	0,1522	0,1372	1,45	3,24	4,63	119,17
M36	kepr ¼	40	33	240	240	175,2	0,58	0,1073	0,0941	0,65	1,27	1,72	126,11
M37	plátno	40	33	240	220	171,7	0,38	0,1522	0,1815	2,74	6,20	7,51	115,36
M38	atlas	40	33	240	220	168,6	0,57	0,0889	0,0688	0,47	0,82	1,09	124,77
M39	kepr ½	40	33	240	220	169,9	0,21	0,1088	0,1144	1,16	2,61	3,50	116,11
M40	kepr ¼	40	33	240	220	168,5	0,56	0,0939	0,0750	0,56	1,03	1,37	126,74
M41	plátno	40	33	240	200	166,1	0,19	0,1309	0,1625	2,24	5,17	6,52	113,66
M42	atlas	40	33	240	200	160,7	0,35	0,0818	0,0669	0,40	0,64	0,88	129,25
M43	kepr ½	40	33	240	200	163,3	0,22	0,1032	0,1048	0,92	1,92	2,72	121,60
M44	kepr ¼	40	33	240	200	160	0,35	0,0903	0,0798	0,50	0,89	1,17	127,99
M45	plátno	40	33	240	180	158	0,45	0,1129	0,1244	1,48	3,19	4,41	119,15
M46	atlas	40	33	240	180	152,8	0,6	0,0772	0,0633	0,34	0,44	0,62	123,18
M47	kepr ½	40	33	240	180	156,3	0,22	0,0942	0,0975	0,74	1,49	2,09	121,53
M48	kepr ¼	40	33	240	180	152,9	0,61	0,0807	0,0677	0,41	0,63	0,82	126,62

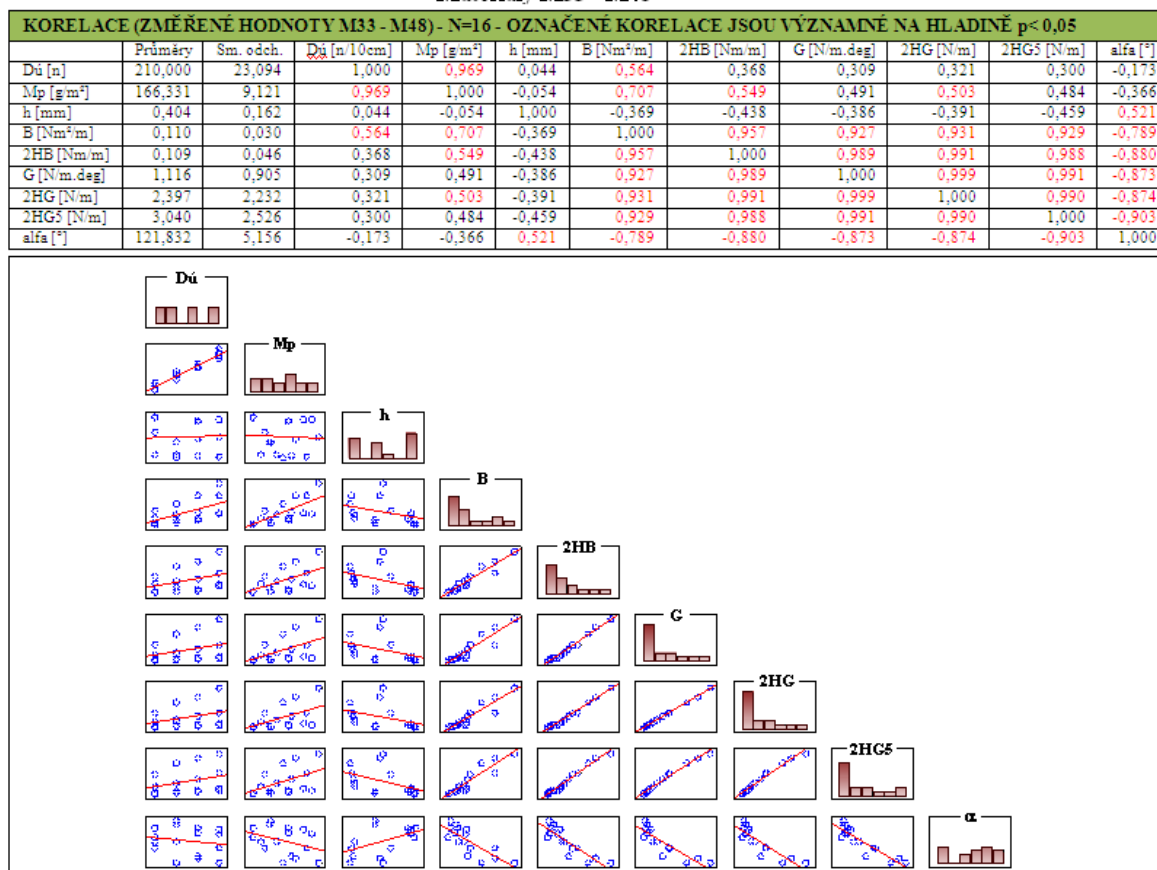
Vícerozměrná analýza dat je uvedena několika grafy. Prvním je maticový graf, zobrazený na obrázku 19, a s ním související korelační matice. Korelaci lze definovat jako míru lineární závislosti dvou veličin. Při korelační analýze lze označit jednu veličinu jako závislou a druhou jako nezávislou. Pro jeden materiál jsou měřeny dvě hodnoty proměnných, z nichž jedna je závislá a druhá nezávislá. Zjišťujeme nejenom korelaci mezi úhlem zotavení  $\alpha$  a ostatními proměnnými, ale také mezi ostatními proměnnými navzájem. Podle uvedených studií by v případě vysoké korelace mezi dvěma nezávislými veličinami stačilo pro tvorbu regresního modelu použít pouze jednu z těchto veličin.

### 3.5.1 Maticový graf

Znaménko korelačního koeficientu určuje, jestli je korelace kladná nebo záporná. Pokud je korelace kladná, tak obě hodnoty zároveň stoupají. Pokud je korelace záporná, hodnota jedné proměnné stoupá a hodnota druhé klesá. V korelační matici jsou červeně vyznačeny korelace dvou veličin, které jsou významné na testovací hladině  $p=0,05$ . Lineární závislost je prokazatelná mezi úhlem zotavení a každou z uvedených nezávislých veličin, kromě dostavy útku a plošné hmotnosti, s těmito veličinami proto nebudeme při tvorbě statistického modelu pracovat. Korelace mezi tloušťkou textilie a úhlem zotavení textilie je kladná, čím menší je tloušťka textilie, tím větší je změřený

úhel zotavení. U ohybové tuhosti, ohybového momentu hystereze, smykové tuhosti, smykového momentu hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykového momentu hystereze při smyku  $5^\circ$  je korelační koeficient kladný. Pokud hodnoty těchto parametrů zvyšují, klesá hodnota úhlu zotavení  $\alpha$ . Mimo to můžeme vysoké hodnoty korelace sledovat i mezi ohybovou tuhostí, ohybovým momentem hystereze, smykovou tuhostí, smykovým momentem hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykovým momentem hystereze při smyku  $5^\circ$ . V tomto případě se jedná o kladnou hodnotu korelačního koeficientu. Z toho vyplývá, že obě hodnoty stoupají. Dále lze usuzovat vysokou lineární závislost mezi plošnou hmotností a dostavou útku. Tato závislost se dala vzhledem ke konstantní hodnotě jemnosti útkové příze předpokládat. Dále jsou v tabulce uvedeny vypočítané průměrné hodnoty a směrodatné odchylky.

Maticový graf  
Materiály M33 - M48



Obr. 19: Maticový graf a korelační tabulka pro materiály M33 – M48 (maticový graf je zhotoven v programu STATISTICA, jednotky jednotlivých veličin jsou z praktických důvodů uvedeny pouze v tabulce)

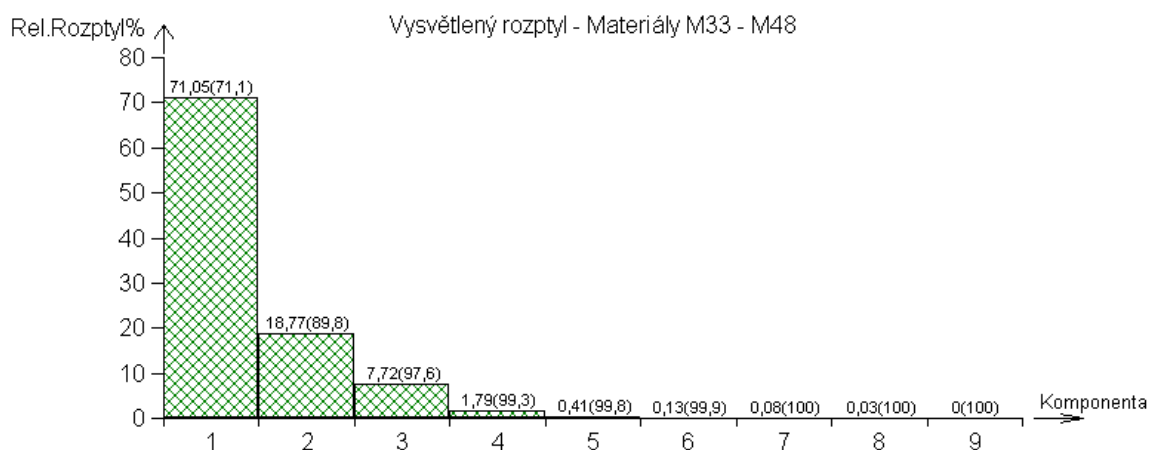
Maticový graf zobrazuje korelace mezi jednotlivými veličinami. Na diagonále jsou vyobrazeny histogramy pro data uvedená v tabulce 7. Největší hodnota lineární závislosti je mezi úhlem zotavení textilie a smykovým momentem hystereze při smyku

5°. Jelikož jsou hodnoty korelace mezi smykovými a ohybovými vlastnostmi vysoké, je pro tvorbu statistického modelu možné použít pouze jednu z těchto veličin. Grafy korelací hodnoty úhlu zotavení textilie se závislými proměnnými jsou uvedeny v příloze č. 4.

### 3.5.2 Analýza hlavních komponent

Součástí analýzy vícerozměrných dat je analýza hlavních komponent. Matice zdrojových dat obsahuje  $m$  sloupců a  $n$  řádků. Z těchto proměnných lze uměle vytvořit nové proměnné pomocí vektorů vlastních čísel  $a_i$ . Vektory  $a_i$  určují složení komponent. Nazývají se hlavní komponenty a tvoří matici  $Y$ . Každé dva sloupce této matice jsou navzájem nezávislé. První sloupec  $y_1$  obsahuje maximální možné množství informace o materiálu. Druhá hlavní komponenta obsahuje největší možné množství informace, která není obsažena v prvním sloupci (první komponentě). Tak jsou vytvořeny i ostatní komponenty. Tato metoda je účinná pouze v případě, že je mezi sloupci zdrojové matice silná korelace. V případě, že tomu tak není, postrádá tato metoda smysl. [11]

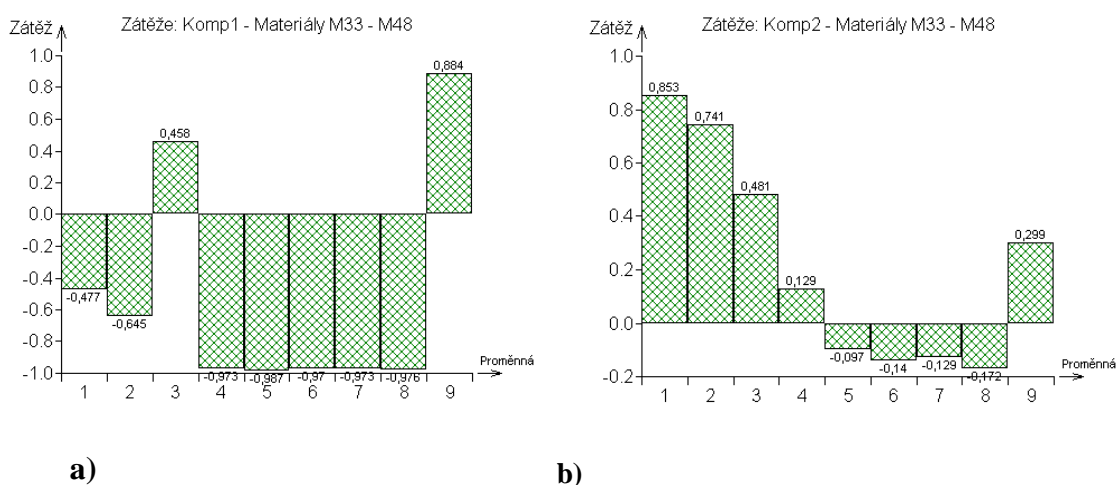
Na obrázku 20 je uveden graf hlavních komponent pro data ze zdrojové matice v tabulce 7. Tento graf vysvětluje rozptyl, který je získaný z vlastních čísel. Z grafu lze usoudit, že první dvě komponenty podávají téměř 90% informace o textili.



**Obr. 20: Graf vysvětlení rozptylu získaný z vlastních čísel (tento graf byl zhotoven v programovém prostředí QC.Expert)**

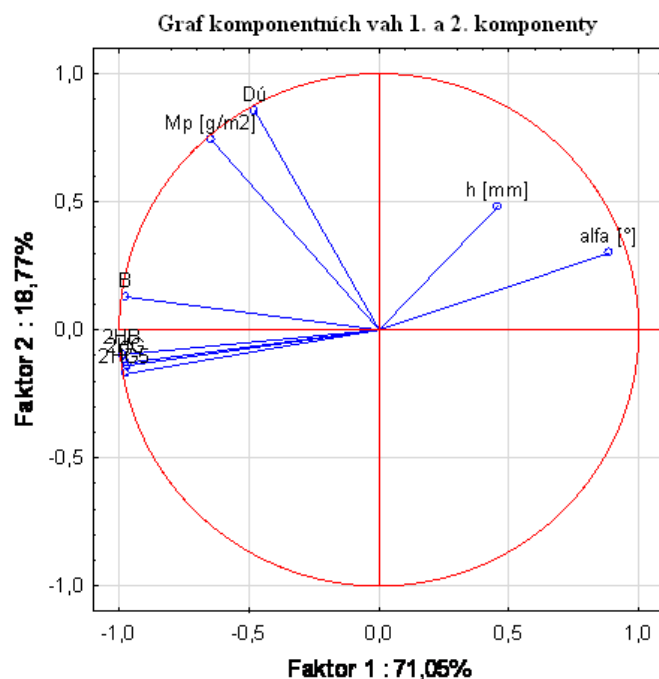
Dále budou použity pouze dvě komponenty. Na grafech 21 a) a 21 b) je uvedena struktura první a druhé komponenty. Ze složení první komponenty je zřejmá existence vztahů mezi jednotlivými veličinami. První komponenta popisuje především vztah

ohybové tuhosti, ohybového momentu hystereze, smykové tuhosti a smykových momentů hystereze. Dále popisuje již zmíněný vztah mezi plošnou hmotností textilie a počtem útkových nití. Ve druhé komponentě jsou ohybové a smykové veličiny zastoupeny menším podílem a naopak plošná hmotnost textilie a dostava útku více. Na obou grafech je podstatně zastoupena hodnota úhlu zotavení. Z druhého grafu je patrná lineární závislost mezi ohybovou tuhostí, plošnou hmotností a dostavou útku. Kladná lineární závislost úhlu zotavení textilie je v maticovém grafu pouze mezi tloušťkou textilie. Tato závislost je patrná i na grafu struktury první komponenty.



**Obr. 21: Struktura hlavních komponent; a) 1. hlavní komponenta; b) 2. hlavní komponenta (tyto grafy byly zhotoveny v programovém prostředí QC.Expert)**

Graf komponentních vah uvedený na obrázku 22 vyjadřuje příspěvek znaku do struktury komponenty. Důležité znaky leží daleko od počátku soustavy souřadnic a méně důležité leží naopak blíž. Svírají-li průvodiče znaků malý úhel je mezi nimi vysoká pozitivní korelace, pokud svírají úhel přibližně  $180^\circ$ , je mezi nimi silná negativní korelace. Když průvodiče znaků svírají úhel přibližně  $90^\circ$ , není mezi nimi lineární závislost. Znaky blízko sebe jsou si vzájemně podobné.



**Obr. 22: Graf komponentních vah (graf vznikl v programovém prostředí STATISTIKA)**

Z grafu komponentních vah na obrázku 22 je patrná silná negativní korelace mezi úhlem zotavení textilie, ohybovou tuhostí, ohybovým momentem hystereze, smykovou tuhostí, smykovými momenty hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a  $5^\circ$ . Mezi úhlem zotavení textilie a tloušťkou textilie je středně silná pozitivní korelace. Naopak mezi úhlem zotavení textilie a dostavou útku a plošnou hmotností textilie je velmi slabá negativní korelace. To potvrzuje závěry, které jsou patrné z maticového grafu a korelační matice.

### 3.5.3 Faktorová analýza [12]

Pro faktorovou analýzu je potřeba nejprve určit 1. a 2. hlavní komponentu. Poté je možné zhotovit graf faktorového skóre. Na obrázku 23 c) je zobrazen graf faktorového skóre pro materiály M33 až M48. Jednotlivé materiály tvoří v grafu shluky. První faktor se týká mechanických vlastností textilie a druhý faktor naopak geometrických vlastností textilie. Tyto shluky jsou známkou jejich podobnosti ve smyslu zmíněných faktorů. Na obrázku 23 c) jsou parné shluky. Tato skutečnost ukazuje na určitou podobnost těchto materiálů. Vysoké hodnoty jsou od počátku vlevo (v případě mechanických vlastností) a nahoru (v případě geometrických vlastností textilie). To znamená, že materiály s vysokými hodnotami proměnných jsou v levém

horním rohu a naopak materiály s nízkými hodnotami proměnných jsou v levém dolním rohu.

### 3.5.4 Shluková analýza – dendrogram [12]

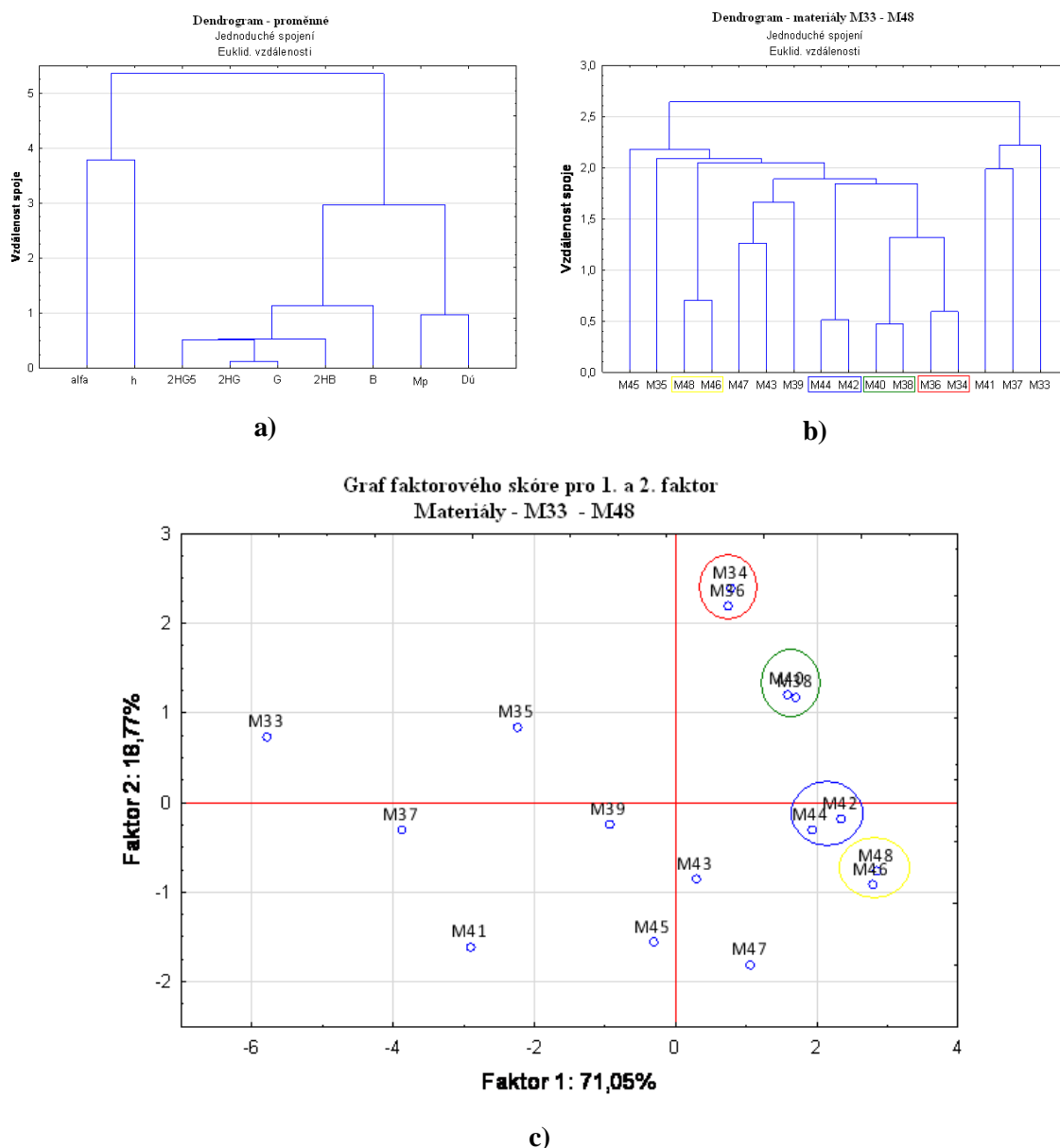
Pokud jsou vícerozměrná data nehomogenní, lze nalézt více středních hodnot v jednom datovém souboru. Data, jejichž střední hodnoty se k sobě přibližují, tvoří shluky. Tyto shluky vypovídají o podobnosti řádků nebo sloupců zdrojové matice. Dendrogram je diagram, který má stromový charakter. S jeho pomocí lze zároveň zhodnotit homogenitu vícerozměrných dat. Vzdálenost proměnných na podélné ose určuje, jak vzdálená jsou data. Nejprve jsou navzájem propojeny dva nejbližší objekty a posléze se k nim připojují další, až vzniknou velké shluky. Při konstrukci dendrogramu je nutné určit typ vzdálenosti. V daném případě je použita Eukleidovská vzdálenost, kterou lze vyjádřit pomocí vztahu 40.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (40)$$

Informaci o podobnosti uvedených materiálů nebo o souvislosti jednotlivých charakteristik textilie poskytuje dendrogram na obrázku 23 a) a b). Dendrogram shrnuje výsledky v grafu faktorového skóre. Lze z něj vyhodnotit, která měření a které materiály budou použity při dalším zpracování dat a která svou podstatou vybočují ze šetření. Pro dendrogram není podstatné, aby data náležela vícerozměrnému normálnímu rozdělení, nýbrž jejich výpovědní hodnota.

Z dendrogramu i grafu komponentního skóre je patná podobnost mezi materiály s atlasovou vazbou a vazbou kepr 1/4 navíc se jedná o materiály se stejnou dostavou útku.





Obr. 23: Dendrogramy: a) dendrogram pro proměnné; b) dendrogram pro materiály M33 – M48 (grafy vznikly v programovém prostředí STATISTIKA); c) Graf faktorového skóre pro materiály M33 – M48 pro 1. a 2. Faktor (graf vznikl v programovém prostředí STATISTIKA)

Z dendrogramu vytvořeného pro proměnné je patrné, že všechny smykové a ohybové charakteristiky jsou si velmi blízké, Proto je možné použít pro tvorbu modelu pouze některé z nich. Dále je patrné, že nejbližší jsou si úhel zotavení textilie a smykový moment hystereze při smyku  $0,5^\circ$ . Naopak plošná hmotnost textilie a dostava útku textilie jsou od úhlu zotavení textilie nejvíce vzdáleny. Z toho lze vyvodit, že tyto dvě charakteristiky nejsou pro tvorbu modelu zásadní a nebudou použity. Tloušťka textilie s hodnotou úhlu zotavení souvisí, délka větve dendrogramu však svědčí o tom, že jejich souvislost není tak významná.

### 3.6 Statistický model pro predikci úhlu zotavení textilie

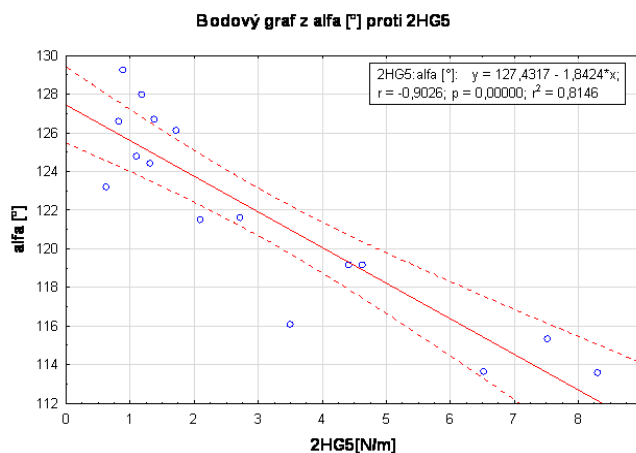
Pro predikci mačkovosti textilie byl vytvořen lineární regresní model. Pro tvorbu zmíněného modelu byly použity pouze některé z proměnných uvedených v předcházejících kapitolách. Pomocí korelace nezávislých proměnných ( $h$ ,  $M_p$ ,  $D_u$ ,  $B$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$  a  $2HG5$ ) se závislou proměnou (v uvedeném případě je závislou proměnou úhel zotavení textilie  $\alpha$ ) lze určit, které z uvedených proměnných je vhodné použít pro tvorbu lineárního regresního modelu. Vysoká hodnota korelace byla zjištěna mezi  $\alpha$  a závislými veličinami  $h$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$  a  $2HG5$ . Naopak mezi závislou proměnou  $\alpha$  a nezávislými proměnnými  $M_p$  a  $D_u$  je korelace nízká. Dále byla zjištěna vysoká korelace mezi všemi těmito proměnnými navzájem  $B$ ,  $2HB$ ,  $G$ ,  $2HG$  a  $2HG5$ . Z toho vyplývá, že je pro tvorbu lineárního regresního modelu možné použít pouze jednu z uvedených proměnných. Lineární regresní model je vytvořen v programovém prostředí Qcexpert a to metodou nejmenších čtverců, která je popsána v řešeršní části.

K tvorbě modelu jsou použita data změřená na 16 textiliích. K hodnocení efektivnosti modelu je použita metoda „leave-one-out“. Tato metoda hodnocení efektivnosti vytvořeného modelu je uvedena v teoretické části. Ve své studii se o ní zmiňuje CHEN a kol. [3] Podstatou této metody je to, že je vždy jedna hodnota vyřazena z tvorby modelu a použita k jeho testování. Na základě dílčích modelů je navržen konečný tvar modelu a spočtena jeho chyba. Jedním z uvedených lineárních regresních modelů je model vytvořený pro jednu závislou proměnnou, kterou je hodnota úhlu zotavení textilie a jednu nezávislou proměnnou, jíž je  $2HG5$ . Hodnoty modelu se od změřených hodnot liší průměrně o 1,66 %. U poloviny materiálů je změřená hodnota  $\alpha$  větší než hodnota vypočítaná pomocí regresního modelu. Průměrný rozdíl mezi naměřenou a vypočítanou hodnotou je  $2,01^\circ$ . Tento lineární regresní model je možné vyjádřit ve tvaru 41. Na obrázku 24 je zobrazena regresní přímka. Pro uvedené dvě proměnné. Regresní přímka je nejjednodušším příkladem lineárního regresního modelu, proto je zde tento model uveden jako příklad. Výsledky hodnocení efektivnosti modelu vyjádřeného rovnicí 41 a jejich výpočet jsou uvedeny v tabulce 5.

$$\bar{y}_i = 127,43 - 1,84(2HG5)_i \quad (41)$$

Tab. 5: Efektivnosti modelu  $\alpha[^\circ]/2HG5[N/m]$ 

Materiál			Průměrná chyba modelu	
			[%]	[°]
M33	111,34	113,62	-2,01	-2,28
M34	125,08	124,45	0,50	0,63
M35	118,88	119,17	-0,25	-0,29
M36	124,10	126,11	-1,59	-2,01
M37	112,94	115,36	-2,10	-2,42
M38	125,50	124,77	0,58	0,73
M39	121,32	116,11	4,49	5,21
M40	124,72	126,74	-1,59	-2,02
M41	115,83	113,66	1,91	2,17
M42	125,38	129,25	-2,99	-3,87
M43	122,48	121,6	0,72	0,88
M44	124,98	127,99	-2,35	-3,01
M45	119,32	119,15	0,14	0,17
M46	126,73	123,18	2,88	3,55
M47	123,74	121,53	1,82	2,21
M48	125,83	126,62	-0,62	-0,79
Průměr	121,76	121,83	1,66	2,01



Obr. 24: Regresní přímka a konfidenční pás

V tabulce 6 je uvedeno 17 lineárních regresních modelů. Všechny tyto modely jsou významné na hladině významnosti  $\alpha=0,05$ . Výsledky šetření ukazují, že je vhodné použít pro daná data metodu nejmenších čtverců. Vzhledem k tomu, že jsou mezi některými nezávislými proměnnými patrné silné závislosti. Je použití prvních 4 modelů vzhledem k multikonlinearitě nevhodné. Dále lze říci, že z hlediska metody „leave-one-out“ je nejvíce efektivním modelem model číslo 7 s chybou modelu 1,53 %. Z tabulky 7 vyplývá, že nejvhodnějším modelem s největší predikční schopností je také model číslo 7. Tabulka 7 hodnotí vhodnost použitého modelu z hlediska hodnot MEP a AIC. Vzorce pro výpočty těchto hodnot jsou uvedeny níže 42 a 43. V tomto případě však byly hodnoty vypočteny v programovém prostředí QC.Expert.

Tab. 6: Návrh lineárního regresního modelu, konstanty a chyba modelu

Model č.	Tvar modelu	Konstanty							Chyba modelu	
		$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	$\alpha_6$	[°]	[%]
1)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_3 (2HB)_i + \alpha_4 (G)_i + \alpha_5 (2GH)_i + \alpha_6 (2GH5)_i$	118,40	-6,83	163,78	-130,39	60,85	-18,24	-7,19	2,60	2,15
2)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_3 (2HB)_i$	126,33	4,22	94,44	-152,35	-	-	-	2,44	2,02
3)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_4 G_i + \alpha_5 (2HG)_i + \alpha_6 (2HG5)_i$	124,29	-1,08	-	-	32,45	-9,50	-5,09	2,33	1,92
4)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_3 (2HB)_i + \alpha_6 (2HG5)_i$	123,00	4,06	44,28	-	-	-	-2,51	1,94	1,59
5)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_4 (G)_i$	121,92	6,93	28,01	-	-5,36	-	-	2,26	1,86
6)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_5 (2HG)_i$	120,76	6,74	34,04	-	-	-2,26	-	2,31	1,90
7)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_6 (2HG5)_i$	121,60	3,59	53,05	-	-	-	-2,32	1,88	1,53
8)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_2 B_i$	136,74	-	-135,24	-	-	-	-	3,01	2,49
9)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_3 (2HB)_i$	132,67	-	-	-99,38	-	-	-	2,28	1,89
10)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_4 G_i$	127,38	-	-	-	-4,97	-	-	2,41	2,00
11)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_5 (2HG)_i$	126,67	-	-	-	-	-2,02	-	2,42	2,00
12)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_6 (2HG5)_i$	127,43	-	-	-	-	-	-1,84	2,01	1,66
13)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i$	131,46	8,45	-118,41	-	-	-	-	2,66	2,19
14)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_3 (2HB)_i$	129,61	5,32	-	-91,09	-	-	-	2,20	1,81
15)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_4 G_i$	124,07	6,87	-	-	-4,50	-	-	2,13	1,75
16)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_5 (2HG)_i$	123,50	6,71	-	-	-	-1,83	-	2,15	1,77
17)	$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_6 (2HG5)_i$	125,31	-4,30	-	-	-	-	-1,72	1,97	1,62

Tab. 7: Statistické charakteristiky regrese

Model č.	R	R <sup>2</sup>	R <sub>p</sub>	MEP	AIC
1)	0,95	0,91	0,43	8,60	27,44
2)	0,91	0,82	0,37	9,68	31,88
3)	0,93	0,86	0,43	8,52	30,40
4)	0,91	0,83	0,55	6,47	30,84
5)	0,90	0,81	0,48	7,72	33,25
6)	0,90	0,81	0,46	8,05	33,10
7)	0,92	0,84	0,57	6,04	29,94
8)	0,79	0,62	0,27	11,88	39,87
9)	0,88	0,77	0,47	7,84	31,64
10)	0,87	0,76	0,45	8,11	32,49
11)	0,90	0,81	0,58	5,93	28,49
12)	0,84	0,76	0,44	8,34	32,33
13)	0,83	0,68	0,29	11,49	39,04
14)	0,89	0,80	0,47	7,84	31,95
15)	0,90	0,80	0,50	7,30	31,56
16)	0,90	0,80	0,49	7,53	31,53
17)	0,91	0,83	0,56	6,20	29,19

V tabulce 7 jsou uvedeny následující hodnoty:

- R - vícenásobný korelační koeficient
- R<sup>2</sup> - koeficient determinance
- R<sub>p</sub> - predikovaný korelační koeficient
- MEP - střední kvadratická chyba predikce

$$MEP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{(1 - H_{ii})^2} \quad (42)$$

- $e_i^2$  - čtverec reziduí modelu
- $H_{ii}$  - i-tý diagonální prvek projekční matice H
- AIC - Akaikovo informační kritérium

$$AIC = n \ln \left( \frac{RSC}{n} \right) + 2m \quad (43)$$

- RSC- reziduální součet čtverců
- m- počet parametrů

Navrhovaný model pro predikci úhlu zotavení textilie je uveden níže vztahem 44. Pro jeho stanovení, je potřeba znát hodnoty závislé proměnné, což je hodnota úhlu zotavení textilie a nezávislých proměnných, těmi jsou tloušťka textilie a smykový moment hystereze při smyku 5°.

$$\bar{y}_i = \alpha_0 + \alpha_1 h_i + \alpha_2 B_i + \alpha_6 (2HG5)_i \quad (44)$$

$$- \alpha_0 = 121,60$$

$$- \alpha_1 = 3,59$$

$$- \alpha_2 = 53,05$$

$$- \alpha_6 = -2,32$$

Tento model byl vybrán z výše navrhovaných na základě rešeršní části práce, která poskytla potřebné informace pro určení parametrů textilie, které byly v modelu použity jako nezávislé proměnné. Dále bylo navrženo 17 lineárních regresních modelů. Z hodnot získaných při zpracování dat pomocí programu QC.Expert, je patrné, že tento model je pro predikci hodnoty úhlu zotavení nejvíce vhodný.

## 4 Závěr

Cílem práce bylo nastudovat a osvojit si znalosti spojené s tvorbou predikčních modelů a pokusit se navrhnout model pro predikci hodnoty úhlu zotavení. V rešeršní části práce se pojednává o tvorbě lineárních regresních modelů a jejich alternativách, jako jsou ANN modely. Rešeršní část dále klade důraz na výběr nezávislých proměnných pro tvorbu lineárního regresního modelu. Inspiraci čerpá ze článků s podobnou tematikou. V úvodu experimentální části je popsáno měření hodnoty úhlu zotavení, která v práci charakterizuje mačkavost. Data jsou dále statisticky zpracována pro použití při tvorbě modelu. Pro určení hodnoty úhlu zotavení textilie byla použita nová inovativní metoda měření úhlu zotavení textilie snímáním. Tato metoda zohledňuje anizotropii textilie, proto je její použití vhodné. Výsledky měření úhlu zotavení jsou zaznamenány do polárního diagramu. Je tak velmi názorně vidět jak se mění mačkavost se změnou směru odběru vzorku vzhledem k osnově.

Na polárních diagramech je zhodnocen vliv vazby na mačkavost textilie. K hodnocení byly použity textilie s plátnovou vazbou, atlasovou vazbou, keprovou vazbou 1/4 a keprovou vazbou 1/2. Všechny textilie jsou vyrobeny z bavlny, proto lze říct, že všechny uvedené závěry se vztahují pouze na bavlněné textilie. A to platí i pro navržený regresní lineární model. Všechny použité tkaniny mají stejnou dostavu osnovy a útku a jsou tkány z nití se stejnou jemností. Z polárních diagramů je patrné, že vazba má vliv na mačkavost textilie. Největší mačkavost vykazuje v obou uvedených případech vazba tkanina kepr 1/4, ovšem textilie s atlasovou vazbou jsou jim na diagramech velmi podobné. Obě tyto vazby vykazují největší mačkavost ve směru odběru vzorku  $\Theta$  je rovno  $60^\circ$  a  $240^\circ$ . Ve vazbě kepr 1/4 je anizotropie méně patrná a mačkavost textilie s plátnovou vazbou je ve všech směrech téměř stejná. Na polárních diagramech lze dále sledovat i vliv změny dostavy útkových nití na mačkavost textilie. I v tomto případě lze konstatovat, že nejvíce je vliv změny dostavy útku patrný na kepru 1/4 a naopak nejméně patrná je změna na textili s plátnovou vazbou.

Vzniku lineárního regresního modelu předchází úvaha o datech, která budou pro návrh modelu použita. Pro tvorbu modelu byly vybrány následující proměnné: dostava útku, plošná hmotnost a tloušťka textilie, dále pak ohybová tuhost, ohybový moment hystereze, smyková tuhost, smykový moment hystereze při smyku  $0,5^\circ$  a smykový

moment hystereze při smyku  $5^\circ$ . O všech těchto parametrech textilie bylo uvažováno jako o potenciálních nezávislých proměnných, které lze použít při tvorbě modelu. Následovalo posouzení korelace mezi jednotlivými proměnnými. Ukázalo se, že významná korelace je mezi úhlem zotavení textilie a nezávislými proměnnými B, 2HB, G, 2HG, 2HG5 a tloušťkou textilie. Naopak mezi úhlem zotavení textilie a její plošnou hmotností nebo dostavou útku je prokazatelná pouze slabá korelace. Proto s nimi při tvorbě modelu nebudeme počítat. Avšak byla prokázána vysoká korelace mezi nezávislými proměnnými navzájem. Pokud je mezi nezávislými proměnnými silná korelace, je vhodné v modelu použít pouze jednu z těchto nezávislých proměnných. Jinak je u modelu konstatována multikonlinearita, neboli přeučenost. V experimentální části je uvedeno 17 modelů. Po zvážení vhodnosti jednotlivých modelů a jejich chyb. Byl za výsledný návrh vybrán model, který používá jako nezávislé proměnné hodnoty tloušťky, ohybové tuhosti a smykového momentu hystereze při smyku  $5^\circ$ . Tento model byl navržen jako nejvhodnější pro daná data.

Cílem práce bylo navrhnout model pro predikci mačkovosti textilie a zhodnotit jeho použití pro predikci mačkovosti textilie. Pomocí uvedeného regresního lineárního modelu je možné předpovědět hodnotu úhlu zotavení vybrané skupiny bavlněných materiálů s uspokojivou přesností. Pro vytvoření lineárního regresního modelu pro přesnější predikci úhlu zotavení textilie, nebo modelu, který by bylo možno použít pro širší škálu materiálů, by bylo potřeba mít k dispozici více dat. V závěru této práce je nutno uvést, že při dalším studiu dané problematiky by bylo vhodné rozšířit skupinu materiálů, použitých k tvorbě modelu.



## Použité zdroje

- [1] B-TEX Laboratory Engineering. Crease Recovery Tester. [online]. [02-01-2012]  
URL: <<https://www.textiletestingequipment.com/instrument-4/Fabric-Garment-Testing-Instruments/crease-recovery-tester.aspx>>
- [2] BRASQUET. C., LE CLOIREC. P. Pressure drop through textile fabrics - experimental data modelling using classical models and neural networks. Chemical Engineering Science. 2000. 55. 2767-2778.
- [3] CHEN, TING, ZHANG, CHONG, LI, LIQING AND CHEN, XIA. Simulating the drawing of spunbonding nonwoven process using an artificial neural network technique. 2008, *Journal of the Textile Institute*, 2007, 99: 5, 479 - 488.
- [4] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 80 0819. Zkoušení mačkovosti plošných textilií. Praha: Český normalizační institut, 1994. Zrušená norma. Platnost ukončena v červnu 1994.
- [5] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 22313. ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. Praha. 1994. 8 s.
- [6] FLÉGLOVÁ. Z. Stanovení mačkovosti. [online]. [02-01-2012] URL: <<http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/cvi%C4%8Den%C3%AD/MACKAVOST1.pdf>>
- [7] FRIDRICHOVÁ. L., ZELOVÁ. K. Objective evaluation of multidirectional fabric leasing. The Journal of The Textile Institute. 2011. 102(8). 719 – 725.
- [8] HUNTER. L., FAN. J. Clothing appearance and fit: science a technology. The Textile Institute. Cambridge England. 2000. ISBN -0-8493-2549-3
- [9] JEDDA. H., GHITH. A. AND SAKLI. F. Prediction of fabric drape using the FAST systém. *Journal of the Textile Institute*. 2007. 98(3). 219 - 225.
- [10] KOVAČIČ. V. Textilní zkušebnictví II. [online]. [02-01-2012]  
URL: <<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/ZKT1dil.pdf>>
- [11] KUPKA. K. Vícerozměrná analýza, regrese a prediktivní metody. Výzkumné centrum pro jakost a spolehlivost – CQR. Pardubice. 2007. 105 s.
- [12] MELOUN. M. Analýza shluků. [online]. [27-03-2012].  
URL: <[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace\\_05\\_1106\\_09a.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_05_1106_09a.pdf)>
- [13] MELOUN. M. Ověření předpokladů o datech. [online]. [27-03-2012].  
URL: <[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace\\_05\\_1101\\_2\\_2-3.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_05_1101_2_2-3.pdf)>
- [14] MELOUN. M. Průzkumová analýza dat. [online]. [27-03-2012].  
URL: <[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace\\_05\\_1101\\_2\\_1.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_05_1101_2_1.pdf)>

- [15] MELOUN. M. Regresní model. [online]. [27-03-2012].  
URL: <[http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace\\_05\\_1101\\_6\\_5-7.pdf](http://www.crr.vutbr.cz/system/files/prezentace_05_1101_6_5-7.pdf)>
- [16] NEURONOVÉ SÍTĚ. [online]. [09-01-2012]  
URL: <<http://www.uivt.cas.cz/~pklan/CHI7.pdf>>
- [17] NOVÁK. M. a kol. Umělé neuronové sítě teorie a aplikace. 1. Vydání. C. H. Beck.. Praha. 1998. ISBN 80-7179-132-6 382 s.
- [18] OMEROGLU. S., KARAKA. E. AND BECERIR. B. Comparison of Bending, rapability and Crease Recovery Behaviors of Woven Fabrics Produced from Polyester Fibers Having Different Cross-sectional Shapes. Textile Research Journal. 2010. 80(12). 1180 – 1190.
- [19] PASTRNEK. R. Finální úpravy textilií. [online]. [02-01-2012] URL: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2003-01-16/12-38-58.pdf>>
- [20] POSPÍŠIL. L. Příručka textilního odborníka. 1. část. SNTL. Praha. 1981. 778 s. ISBN: 2-835.727.1
- [21] ŠŤASTNÝ. F. Popisné statistiky. [online]. [20-03-2012]. URL: <[http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html\\_tree/node13.html#SECTION00013230000000000000](http://amper.ped.muni.cz/jenik/nejistoty/html_tree/node13.html#SECTION00013230000000000000)>
- [22] Texusite.info. Textilní výkladový slovník. [online]. [02-01-2012].  
URL: <<http://cz.texusite.info/Ma%C4%8Dkavost>>
- [23] ZELOVÁ. K. K problematice mačkavosti plošných textilií. SVOČ. Liberec. 2009.
- [24] ZELOVÁ. K.: Rukopis disertační práce 2012.

## Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma neuronu a jeho spojení s dalším neuronem - podle [17].....	13
Obr. 2: základní model neuronu - podle [17].....	15
Obr. 3: Schéma vrstevnaté neuronové sítě .....	16
Obr. 4: Průběh deformace proužku textilie – podle [10].....	24
Obr. 5: Tvar vzorku při měření úhlu zotavení - správný způsob měření; a) rameno vzorku je rovné; b) rameno vzorku je vyduť; c) rameno vzorku je vypouklé; d) rameno vzorku je částečně rovné a částečně zahnuté - podle [7].....	27
Obr. 6: Přístroj UMAK – podle [6] .....	28
Obr. 7: a) uspořádání vzorků na textilií v měřítku 1:10 – podle [20]; b) velikost vzorku 1:1 .....	28
Obr. 8: : Tvary vzorku po zotavení; b) rameno vzorku je rovné a okraje mají stejný sklon; c) rameno vzorku je rovné, ale každý okraj má jiný sklon; d) spodní část ramena je rovná a horní ohnutá; e) vyduť rameno; f) vypuklé rameno – podle [20].....	29
Obr. 9: : Metoda skládaného proužku – podle [10] .....	30
Obr. 10: a) vzorek textilie; b) vzorek textilie po době zotavení; c) přístroj pro hodnocení mačkovosti metodou AKU – podle [10].....	31
Obr. 11: Měření úhlu zotavení horizontálně složeného vzorku; a) zařízení pro zatěžování vzorku, b) přístroj na měření úhlu zotavení – podle [5]; c) CREASE RECOVERY TESTER [1] .....	32
Obr. 12: Příklad umístění vzorků na textilií – podle [5].....	33
Obr. 13: Měření úhlu zotavení snímáním .....	35
Obr. 14: Uspořádání vzorků na textilií .....	36
Obr. 15: Způsob měření úhlu zotavení pro různé tvary vzorku, který jsme z praktických důvodů použili při měření v experimentální části, a) rovné rameno vzorku, b) vypouklé rameno vzorku, c) rameno vzorku je rovné, pouze jeho konec je zahnutý, d) vyduť rameno vzorku.....	36
Obr. 16: Box – plot: Hodnota úhlu zotavení ve 300 s. – textilie 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 .....	41
Obr. 17: a) Polární diagram pro textilie M37, M38, M39, M40; b) Polární diagram pro textilie M41, M42, M43, M44 .....	46

Obr. 18: a) polární diagram M37, M41 – plátňová vazba; b) polární diagram M38, M42 – atlasová vazba; c) polární diagram M39, M43 – vazba kepr 1/2; d) polární diagram M40, M44 – vazba .....	47
Obr. 19: Maticový graf a korelační tabulka pro materiály M33 – M48 (maticový graf je zhotoven v programu STATISTICA, jednotky jednotlivých veličin jsou z praktických důvodů uvedeny pouze v tabulce).....	49
Obr. 20: Graf vysvětlení rozptylu získaný z vlastních čísel (tento graf byl zhotoven v programovém prostředí QC.Expert).....	50
Obr. 21: Struktura hlavních komponent; a) 1. hlavní komponenta; b) 2. hlavní komponenta (tyto grafy byly zhotoveny v programovém prostředí QC.Expert).....	51
Obr. 22: Graf komponentních vah (graf vznikl v programovém prostředí STATISTIKA) .....	52
Obr. 23: Dendrogramy: a) dendrogram pro proměnné; b) dendrogram pro materiály M33 – M48 (grafy vznikly v programovém prostředí STATISTIKA); c) Graf faktorového skóre pro materiály M33 – M48 pro 1. a 2. Faktor (graf vznikl v programovém prostředí STATISTIKA) .....	54
Obr. 24: Regresní přímka a konfidenční pás .....	56

### Seznam tabulek

Tab. 1: Charakteristika použitých materiálů – materiálové složení, vazba, jemnost osnovních nití, jemnost útkových nití, dostava osnovy, dostava útku, plošná hmotnost, tloušťka textlie .....	37
Tab. 2: Vazby materiálů; a) plátňo; b) atlas; c) kepr 1/2; d) kepr 1/4.....	37
Tab. 3: Data získaná pomocí statistického softwaru QCExpert, průměr, rozptyl, směrodatná odchylka, šikmost, špičatost, medián, modus, IS spodní, IS horní, variační koeficient .....	40
Tab. 4: Data pro vícerozměrnou analýzu - materiály M33 – M48 (data poskytnutá K. Zelovou [24]) .....	48
Tab. 5: Efektivnosti modelu $\alpha[^\circ]/2HG5[N/m]$ .....	56
Tab. 6: Návrh lineárního regresního modelu, konstanty a chyba modelu .....	57
Tab. 7: Statistické charakteristiky regrese .....	58

## Seznam příloh

**PŘÍLOHA 1:** Polární diagramy a křivky zotavení

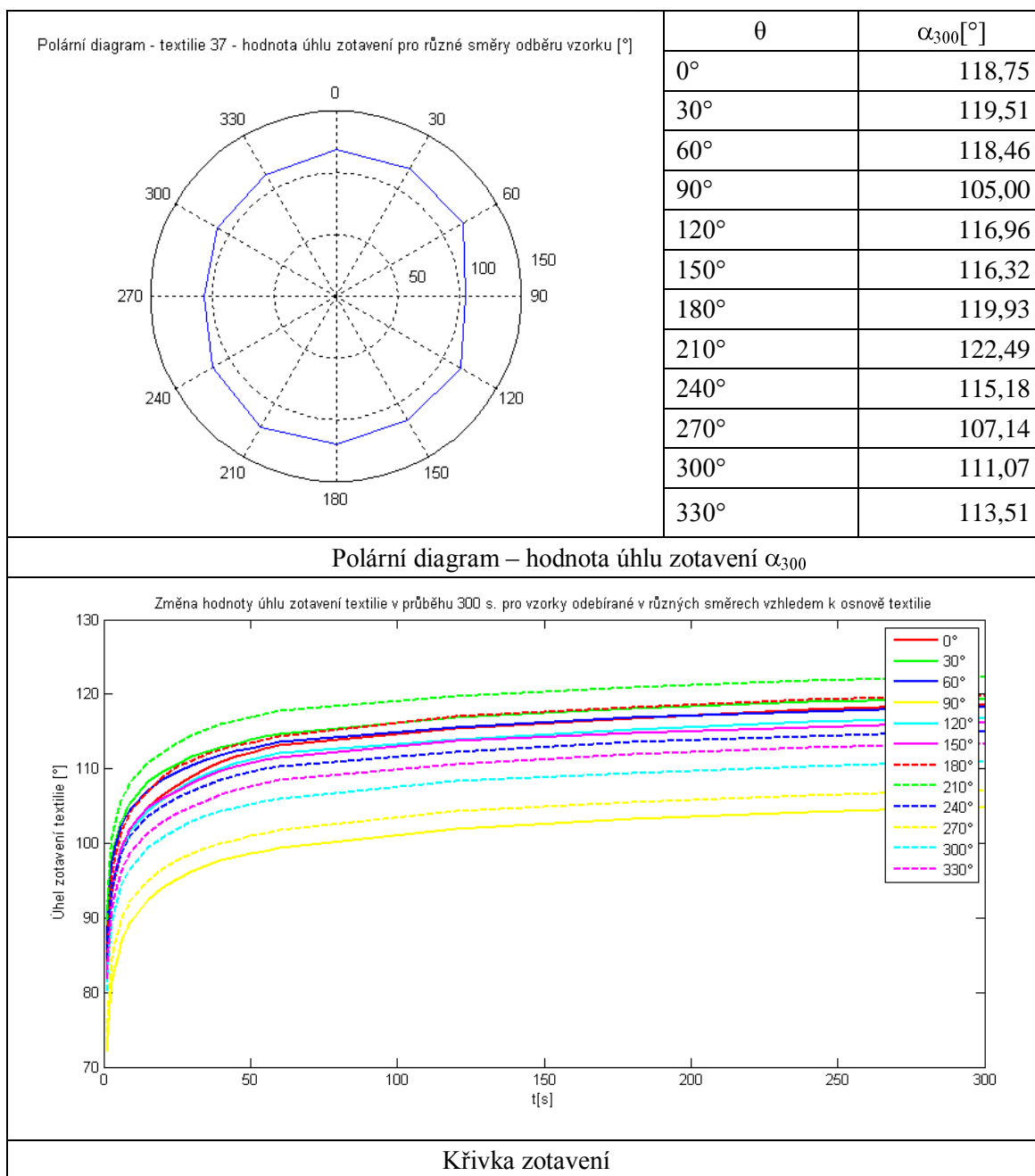
**PŘÍLOHA 2:** Krabicový diagram - hodnota úhlu zotavení v 300 s. textilie 41, bez odlehlých pozorování – porovnání s ostatními box-ploty

**PŘÍLOHA 3:** Slovně a graficky zpracované výsledky jednorozměrné analýzy dat

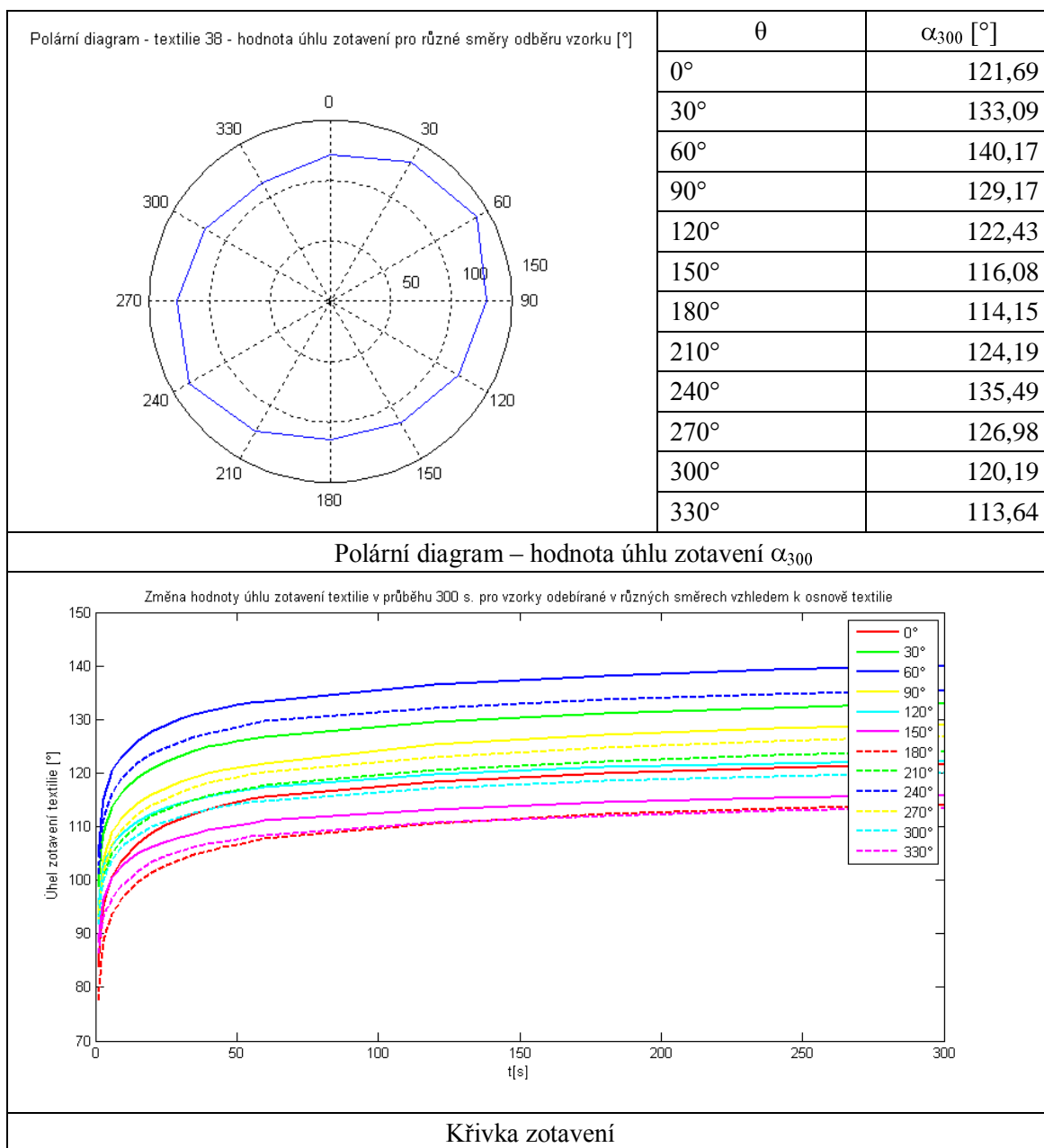
**PŘÍLOHA 4:** Grafy korelace  $\alpha$  a ostatních nezávislých veličin

## PŘÍLOHA 1

**Tab. příloha 1. 1: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 37**

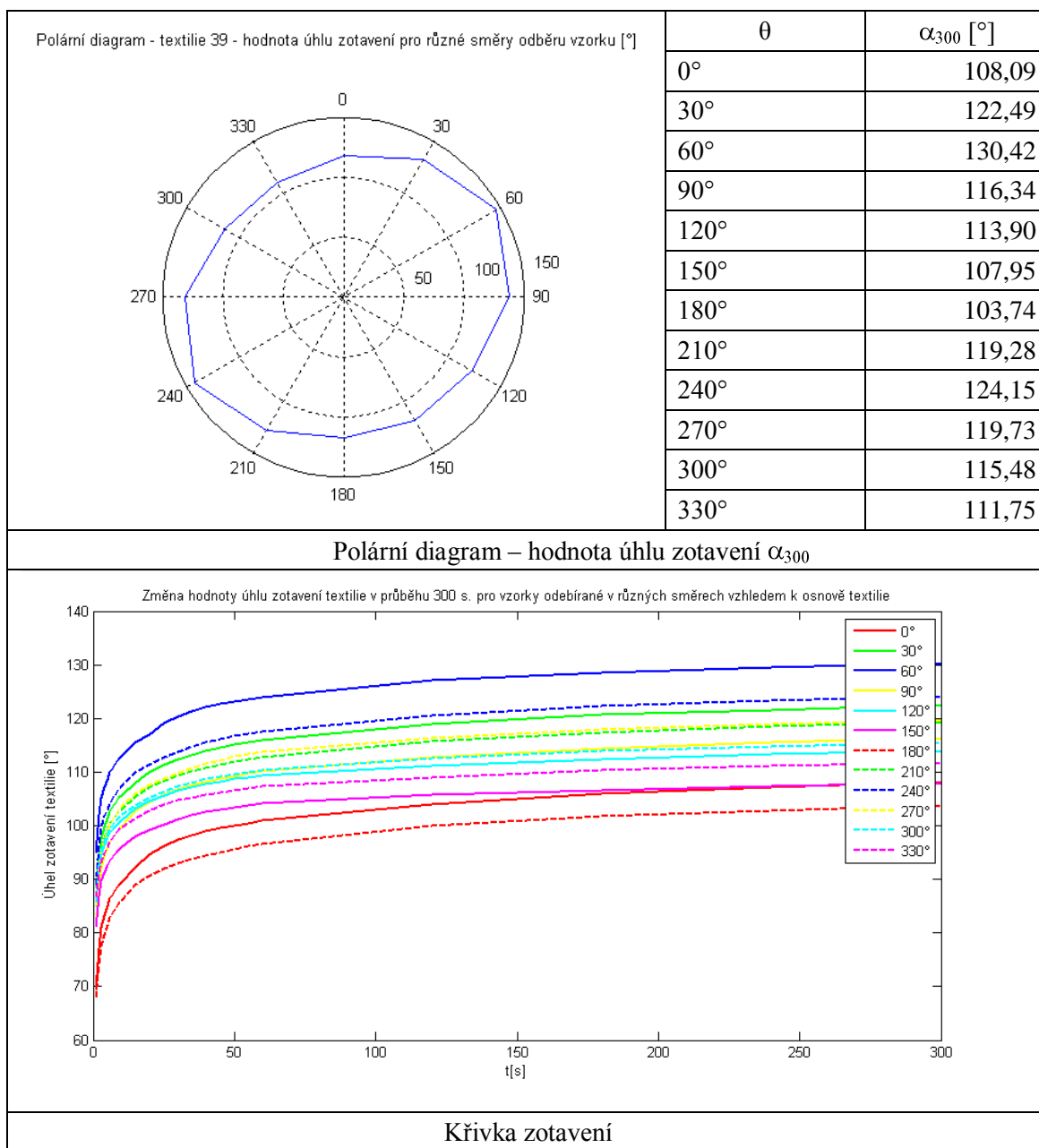


**Tab. příloha 1. 2: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 38**

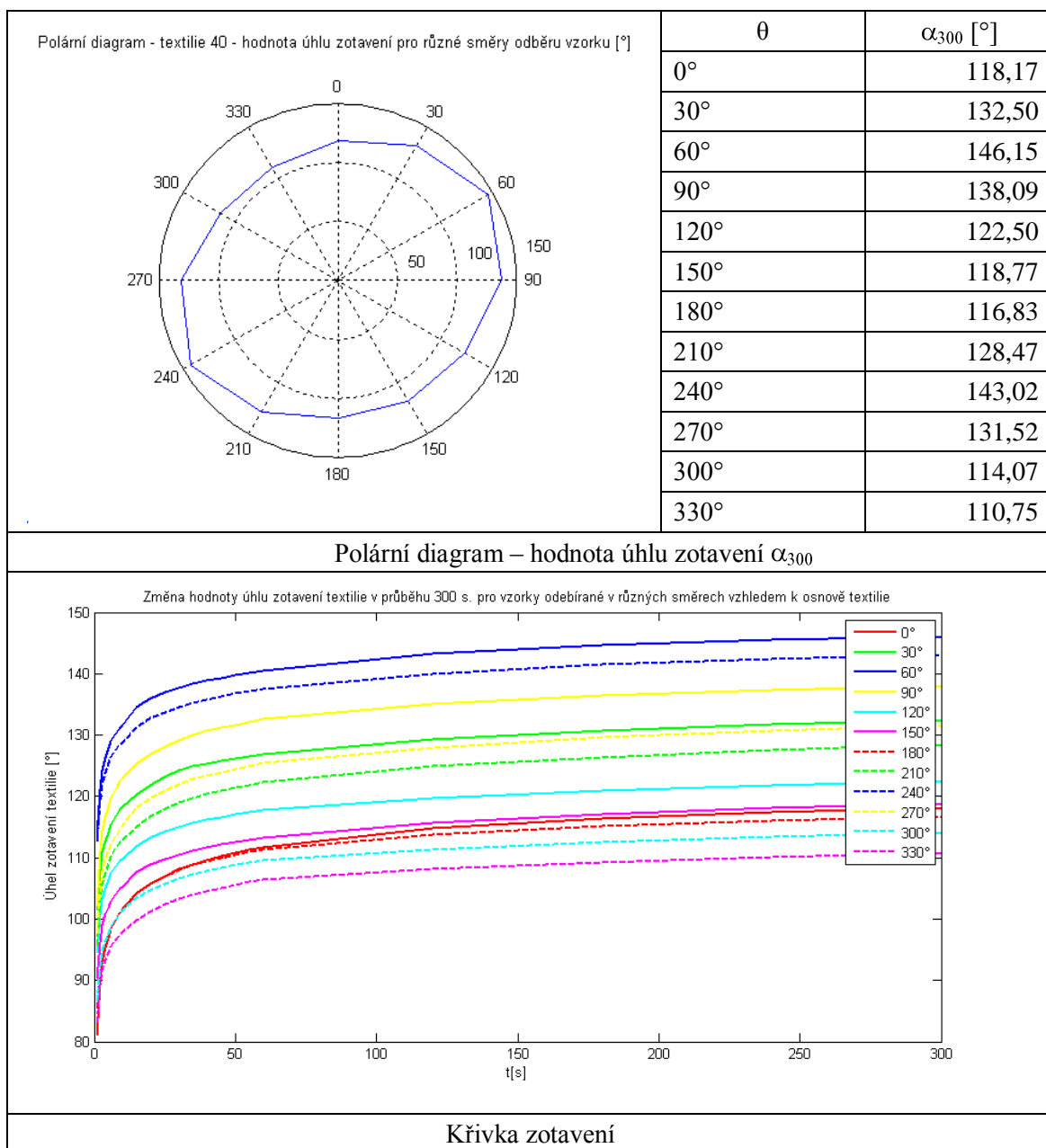




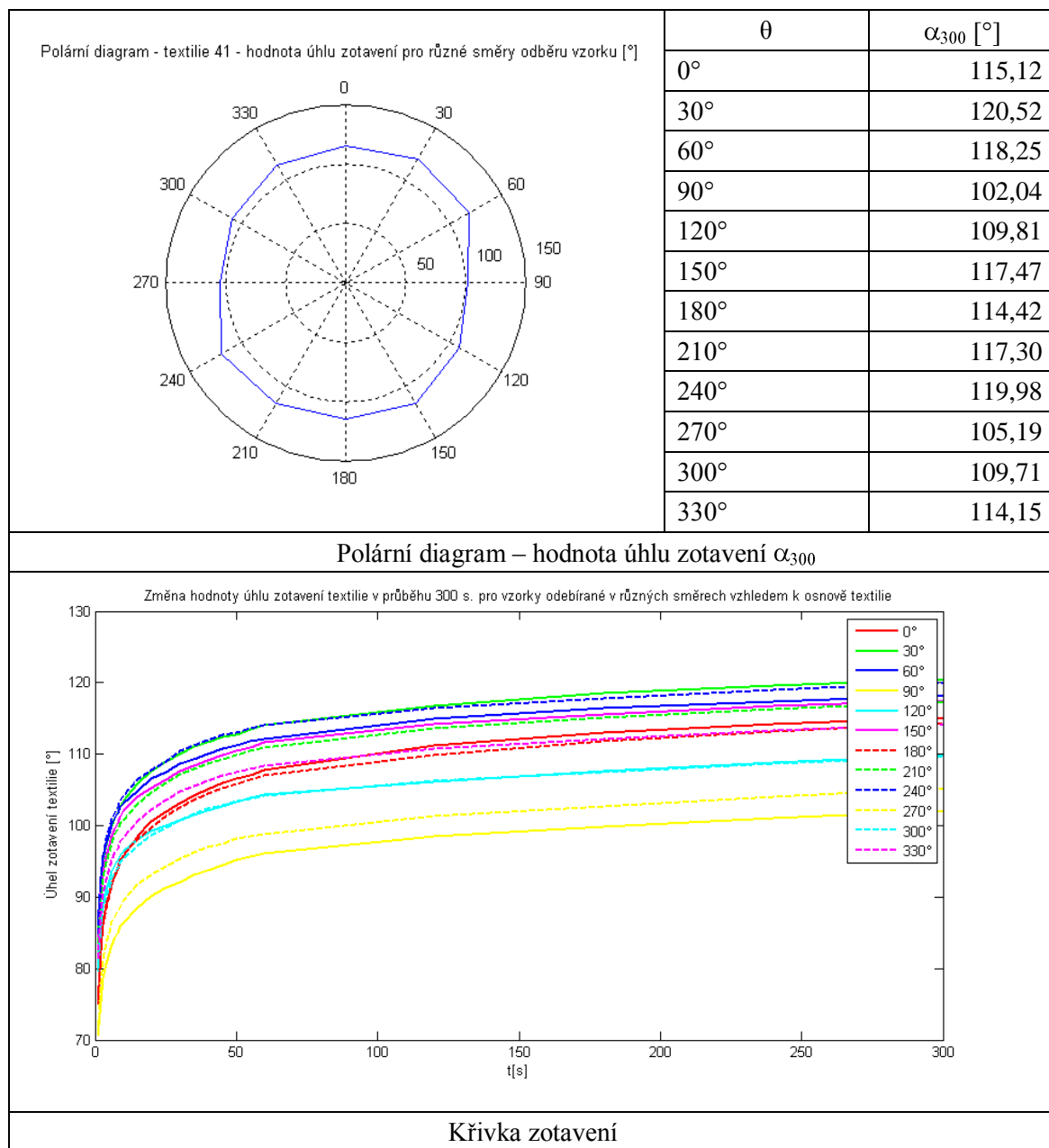
**Tab. příloha 1. 3: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 39**



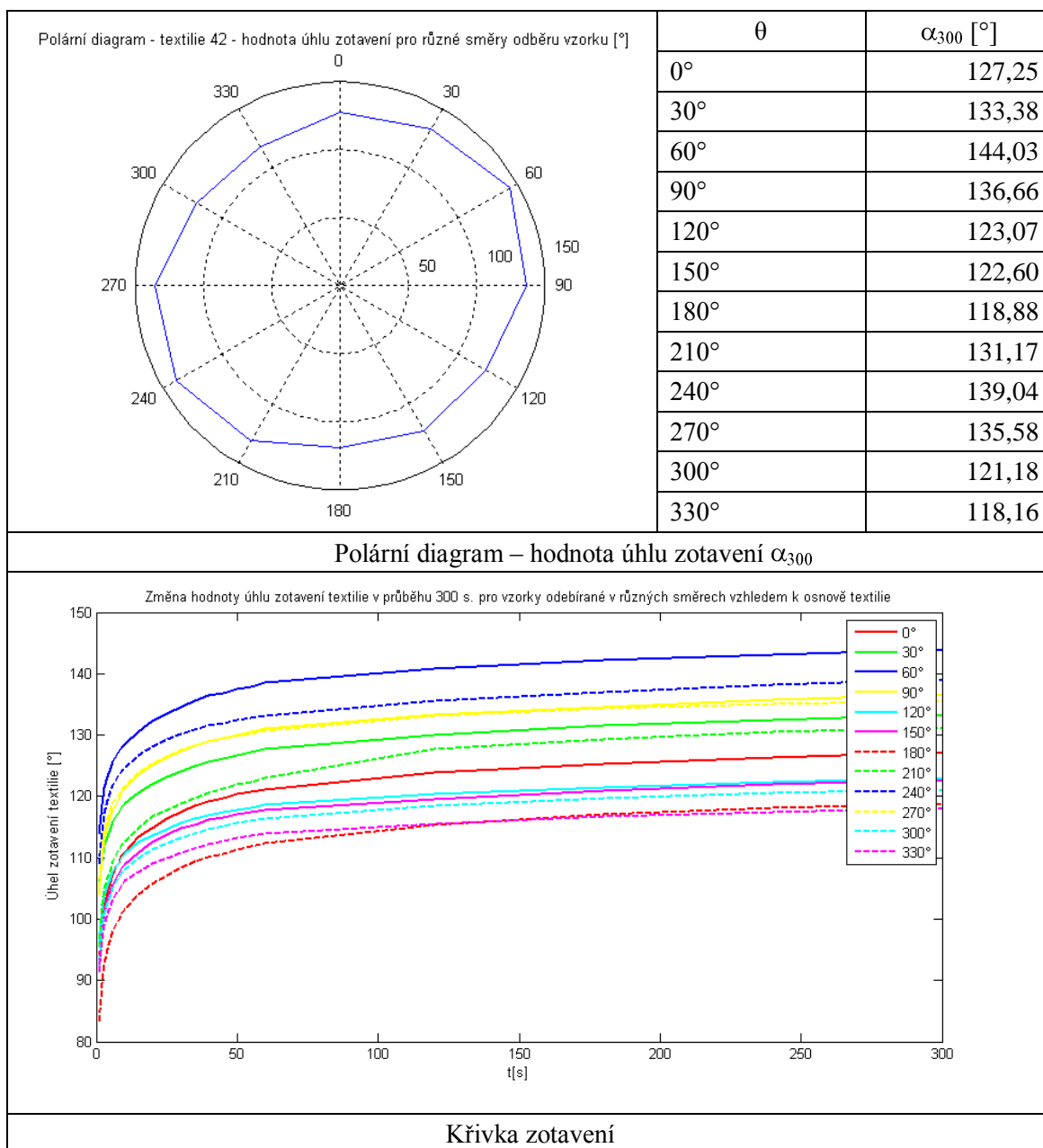
**Tab. příloha 1. 4: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 40**



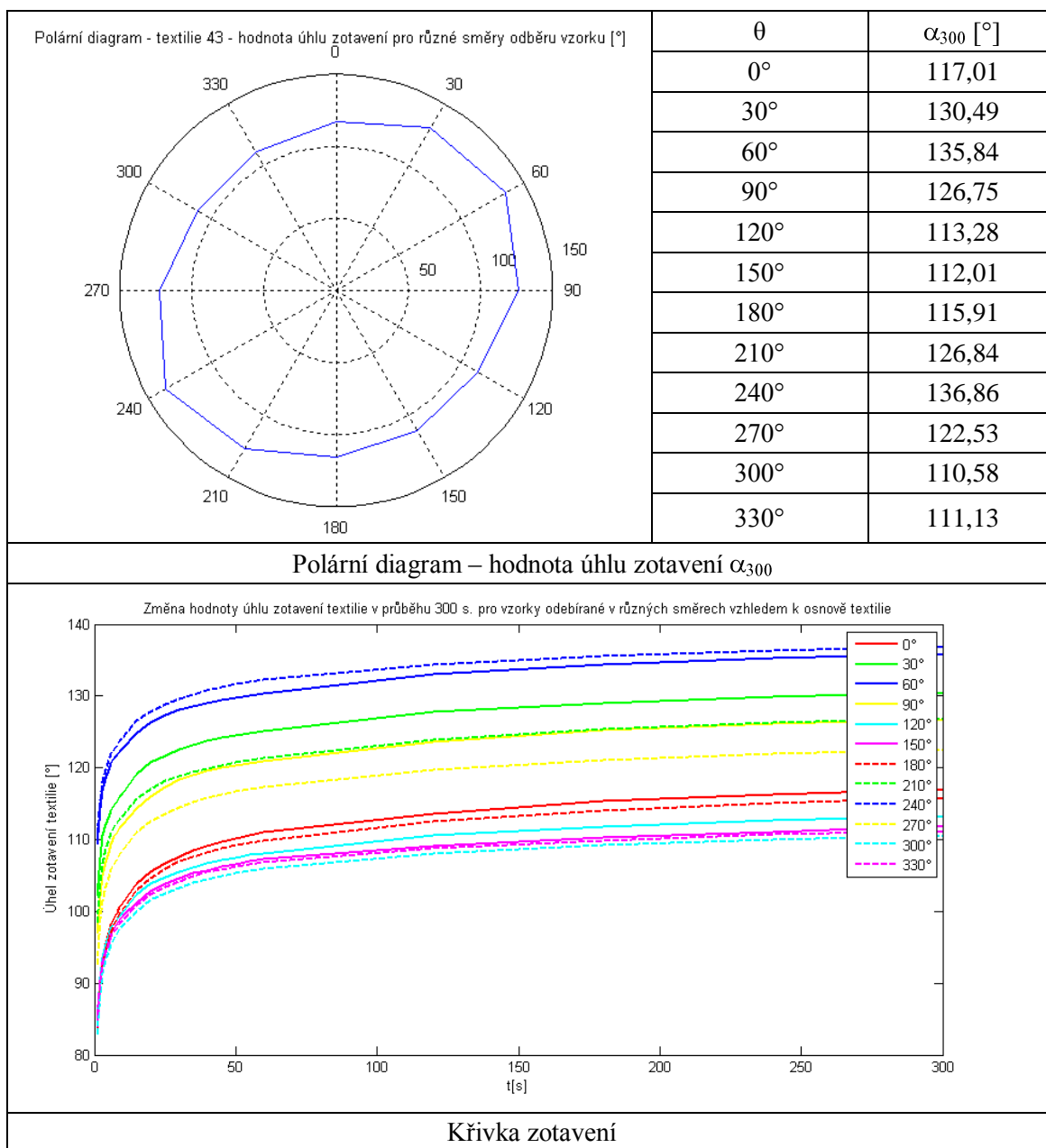
**Tab. příloha 1. 5: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odbírání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 41**



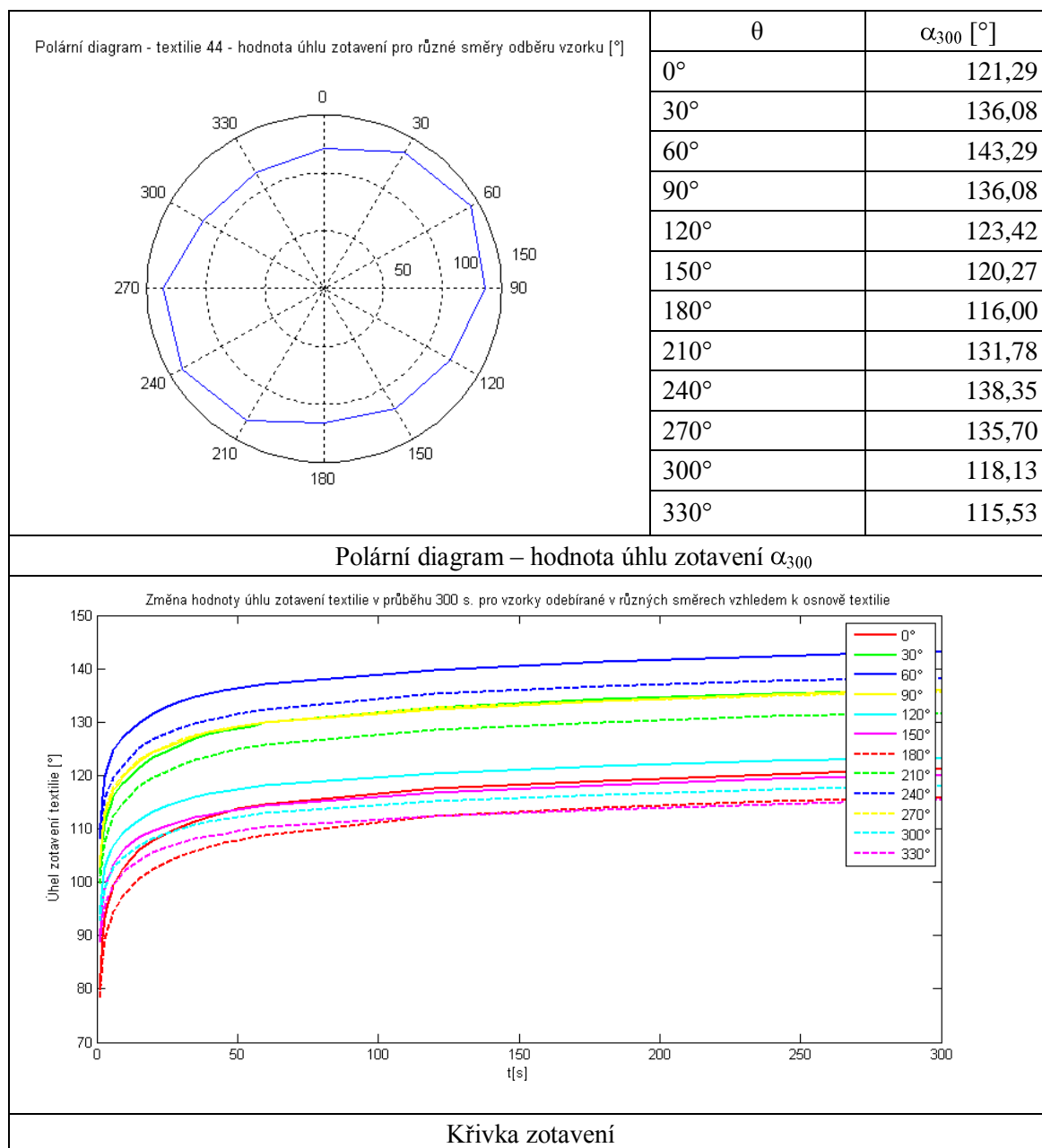
**Tab. příloha 1. 6: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odbírání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 42**



**Tab. příloha 1. 7: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 43**

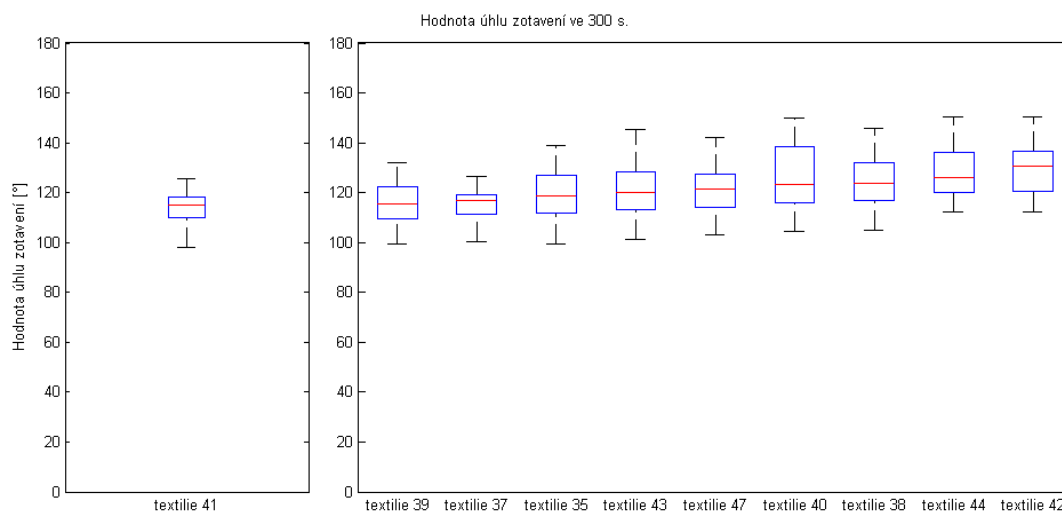


**Tab. příloha 1. 8: Polární diagram – hodnota průměrného úhlu zotavení ve 300 s. pro různé směry odebrání vzorku  $\theta$ , křivka zotavení – Textilie č. 44**



## **PŘÍLOHA 2**

Na obrázku 1 přílohy 2 je zobrazen upravený krabicový diagram pro hodnoty M41 a jeho srovnání s ostatními krabicovými grafy. Po odstranění odlehlého pozorování se hodnota mediánu zvětší z hodnoty 114,99° na 115,04° a průměr se zvětší z 113,66 na 113,91.



Graf příloha 3. 1: Krabicový diagram - hodnota úhlu zotavení v 300 s. textilie 41, bez odlehlých pozorování – porovnání s ostatními box-ploty



## PŘÍLOHA 3

### Q – Q Graf

Q – Q graf neboli kvantil – kvantilový graf slouží k zhodnocení toho, jestli daná data pochází z nějakého známého rozdělení. Podle tvaru Q – Q grafu je možné posuzovat šikmost, špičatost, normalitu i homogenitu výběru. Pokud mají data normální rozdělení bez odlehlých měření má graf tvar přímky, pokud se ve výběru nacházejí nějaká odlehlá měření, je tvarem grafu také přímka, ale jeho koncové body se nacházejí mimo tuto přímku. Tvar přímky se mění se šikmostí a špičatostí rozdělení. Q – Q Graf pro data s kladnou šikmostí má konvexní tvar, pro data se zápornou šikmostí má naopak konkávní tvar. Pokud je tvar křivky spíše konvexně-konvexní, je špičatost dat větší než u normálního rozdělení. V případě, že je naopak konvexně-konkávní, je špičatost dat menší než u normálního rozdělení.

### Histogram

Prvním z uvedených grafů je histogram. Histogram je vytvořen programem pro vybraná data. Zobrazuje četnosti dat v jednotlivých intervalech. Intervaly jsou programem určeny automaticky s ohledem na počet dat. Velikost výběrového souboru je 73 dat. Data jsou seříděna podle velikosti do intervalů. Na ose x jsou uvedeny jednotlivé třídy a velikosti intervalů. Na ose y je uvedena četnost hodnot v jednotlivých intervalech.

### Kvantilový graf

Na kvantilovém grafu jsou zobrazeny empirické kvantily dat. Na ose x je zobrazena pořadová statistika a na ose y potom pořádková pravděpodobnost. Kromě empirických kvantilů dat jsou na grafu zakresleny další dvě křivky. První zobrazuje kvantilovou funkci normálního rozdělení pro klasický odhad parametrů polohy a rozptýlení (je na grafech označena zeleně), druhá je pro robustní odhady (na grafu je označena červenou barvou). Podle porovnání těchto křivek s body grafu určíme, je-li pro odhad střední hodnoty vhodnější použít průměr nebo medián.

### Diagram rozptýlení a rozmítnutý diagram rozptýlení

Diagram rozptýlení představuje jednorozměrnou projekci kvantilového grafu do osy x. Data jsou ve skutečném měřítku zobrazena na ose x a popis osy y je zvolen

---

libovolně. Protože může dojít ke splynutí nebo překrývání stejných nebo blízkých dat, jsou v dolní části grafu data náhodně rozmítnuta na ose y. Jsou tak dobře vidět lokální koncentrace dat a podezřelá nebo vybočující měření. Dále si lze z grafu utvořit předpoklad o šikmosti, špičatosti a homogenitě souboru.

### **Graf rozptýlení s kvantily**

Body grafu jsou shodné s body na kvantilovém grafu. Na tomto grafu jsou navíc znázorněny obdélníky. Obdélníky jsou umístěny uvnitř sebe a vzdálenost jejich stran odpovídá symetrii dat. Medián je v grafu označen vodorovnou příčkou uprostřed nejmenšího obdélníku. Na ni kolmá úsečka odpovídá intervalu spolehlivosti mediánu. Body vně největšího obdélníku mohou být považovány za odlehlá pozorování.

### **Odhad hustoty**

Graf odhadu hustoty pravděpodobnosti slouží k porovnání průběhu pravděpodobností funkce normálního rozdělení, která je na obrázku znázorněna plnou čarou (zeleně) s jádrovým odhadem hustoty, který je vypočítaný na základě změřených dat. Na ose x je zobrazena proměnná x (v našem případě hodnota úhlu zotavení textilie) a na ose y je vyznačen odhad hustoty pravděpodobnosti  $f(x)$ . Pokud data nejsou homogenní, nebo tvoří-li shluky, na grafu se to může projevit více maximy na křivce jádrového odhadu. Pokud je k vytvoření jádrového odhadu použito dostatečné množství dat a ta prokazují normalitu, jsou si křivky velmi podobné.

### **Graf polosum**

Graf polosum indikuje asymetrii rozdělení. Na ose x je uvedena pořádková statistika  $x(i)$  a na ose y potom hodnoty  $Z_i = 0,5(x_{(n+1-i)} + x_i)$ . Bod je zkonstruován ze dvou hodnot, jak naznačuje vztah pro  $Z_i$ . Pokud by se jednalo o graf ideálního symetrického rozdělení, byla by grafem přímka. Plná černá přímka, na které leží poslední bod grafu, označuje hodnotu mediánu a dvě červené přerušované přímky označují jeho interval spolehlivosti. Pokud nejsou body z ideálního rozdělení, vykazují určitý trend. Stoupající trend ukazuje na zápornou šikmost a klesající naopak na kladnou hodnotu šikmosti.

### **P – P Graf**

P – P graf je prostředkem pro posouzení normality dat. Na ose x je znázorněna pořadová pravděpodobnost a na ose y je znázorněna  $F_t(S_i)$ , kde  $S_i$  je standardizovaná proměnná. Na grafu jsou zakresleny tři křivky. Zelená odpovídá datům s Laplaceovým rozdělením, modrá křivka odpovídá datům s normálním rozdělením a červená přerušovaná křivka znázorňuje rovnoměrné rozdělení. Černá přímka odpovídá naměřeným datům. Experimentálním datům odpovídá nejvíce rozdělení, jehož křivka je nejbližší černé úsečce.

### Kruhový graf

Kruhový graf lze použít ke komplexnímu posouzení hypotézy normality. Pokud se tvar výrazně liší od kružnice, ukazuje to na jiné než normální rozdělení. Pokud leží hlavní osa elipsy na úhlopříčce, jedná se pravděpodobně o symetrické rozdělení. Pokud leží její hlavní osa rovnoběžně s osou x, jedná se o rovnoměrné rozdělení. Pokud se jedná o normální rozdělení, jsou elipsy téměř shodné. Zelená elipsa na obrázku odpovídá normálnímu rozdělení dat a černá elipsa odpovídá změřeným hodnotám.

### Vyhodnocení diagnostických grafů a diagnostických testů

**M 37** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je záporná (graf polosum vykazuje stoupající trend), to znamená, že vlevo od střední hodnoty se nachází více odlehle hodnoty. Dále můžeme konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 115,36°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru netvoří shluky a data jsou homogenní, na křivce jádrového odhadu není více lokálních maxim. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno metodou odebírání vzorků, která není zcela náhodná. Postup odebírání vzorků je předem určen metodikou. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

---

**M38** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je kladná (graf polosum vykazuje klesající trend), to znamená, že vpravo od střední hodnoty se nachází více odlehlé hodnoty. Dále můžeme konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 124,77°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu jsou dvě lokální maxima. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno metodou odebírání vzorků, která není zcela náhodná. Postup odebírání vzorků je předem určen metodikou. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

**M39** – Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je záporná (graf polosum vykazuje stoupající trend), to znamená, že vlevo od střední hodnoty se nachází více odlehlé hodnoty. Šikmost se od hodnoty 0 liší pouze nepatrně, proto je na grafu stoupající trend méně zřetelný. Dále můžeme konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 116,11°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu není více lokálních maxim. Z kruhového grafu lze usuzovat na normální rozdělení, elipsy se k sobě tvarem přibližují. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

---

**M40** – V tomto výběru je špičatost dat významně menší než 3. Je to patrné již na histogramu, na P-P grafu a kruhovém grafu se data jeví jako, kdyby pocházela z rovnoměrného rozdělení. Z grafů je patrné, že šikmost dat je kladná (graf polosum vykazuje klesající trend), to znamená, že vpravo od střední hodnoty se nachází více odlehlé hodnoty. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty  $126,74^\circ$ . Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu je více lokálních maxim. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

**M41** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Na krabicovém diagramu je zobrazeno jedno odlehlé pozorování. Z grafů je patrné, že šikmost dat je záporná (graf polosum vykazuje stoupající trend), to znamená, že vlevo od střední hodnoty se nachází více odlehlé hodnoty. Dále lze konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty  $113,66^\circ$ . Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu je více lokálních maxim. Z kruhového grafu lze usuzovat na normální rozdělení, elipsy se k sobě tvarem přibližují. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

---

**M42** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je kladná (graf polosum vykazuje klesající trend), to znamená, že vpravo od střední hodnoty se nachází více odlehle hodnoty. Šikmost se od hodnoty 0 liší pouze nepatrně, proto je na grafu klesající trend méně zřetelný. Dále lze konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 129,25°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu je více lokálních maxim. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

**M43** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je kladná (graf polosum vykazuje klesající trend), to znamená, že vpravo od střední hodnoty se nachází více odlehle hodnoty. Dále lze konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 121,60°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu je více lokálních maxim. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

---

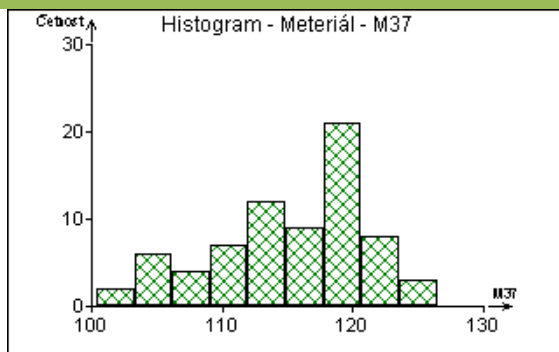
**M44** - Z Q-Q grafu lze vyčíst, že se pravděpodobně jedná o data s normálním rozdělením. Z grafů je patrné, že šikmost dat je kladná (graf polosum vykazuje klesající trend), to znamená, že vpravo od střední hodnoty se nachází více odlehlé hodnoty. Dále lze konstatovat, že podle diagnostických grafů je špičatost nižší než u normálního rozdělení. Z kvantilového grafu vyplývá, že pro odhad střední hodnoty souboru měření je vhodnější použít aritmetický průměr (body jsou blíže zelené křivce), který nabývá hodnoty 127,99°. Podle grafu odhadu hustoty lze předpokládat, že se ve výběru tvoří shluky, na křivce jádrového odhadu je více lokálních maxim. Náhodný výběr v tomto případě tvoří 72 výsledků měření, to znamená, že velikost výběru je dostatečná. Podle výpočtu minimální velikosti náhodného výběru se jedná o minimálně 51 hodnot, tato podmínka je splněna. Test normality výběru potvrdil nulovou hypotézu a normalita byla přijata. Při ověření nezávislosti dat souboru se ukázalo, že prvky souboru nejsou nezávislé. Je to způsobeno způsobem odebírání vzorků, který není zcela náhodný, kvůli zachování postupu odebírání vzorků. Homogenita výběru byla testem přijata. Test homogenity ukázal, že ve výběru nejsou žádné vybočující body.

---

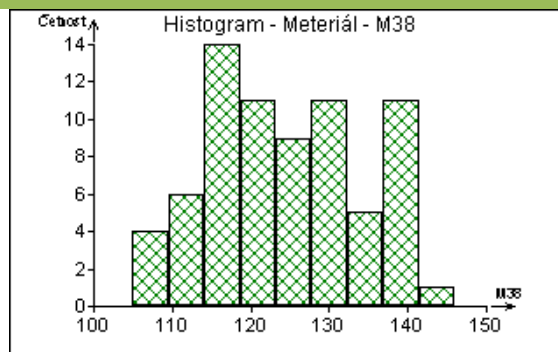


Tab. příloha 3. 1: Histogramy pro materiály M37 - M44

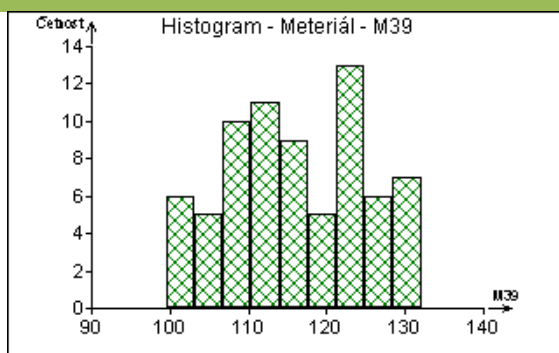
Histogram – Materiál - M37



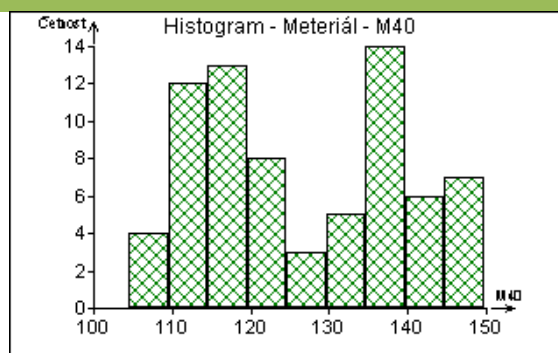
Histogram – Materiál – M38



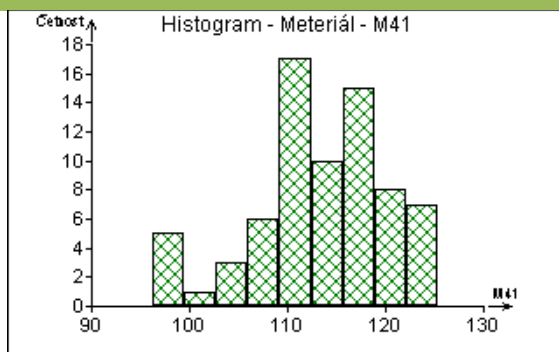
Histogram – Materiál – M39



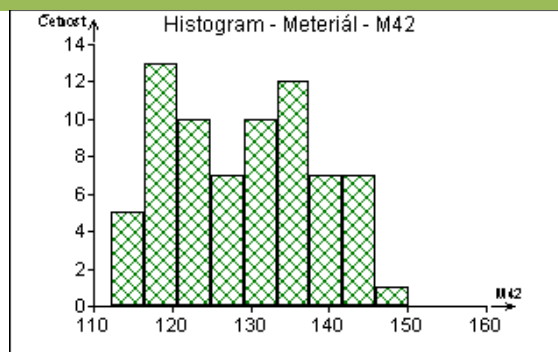
Histogram – Materiál – M40



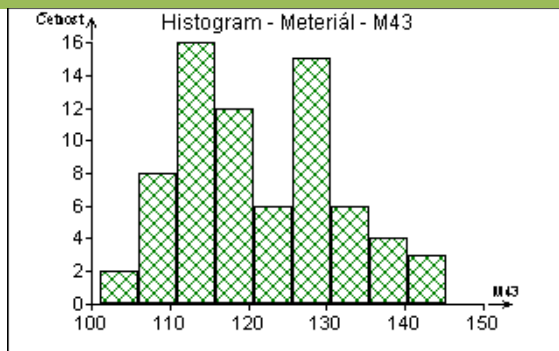
Histogram – Materiál – M41



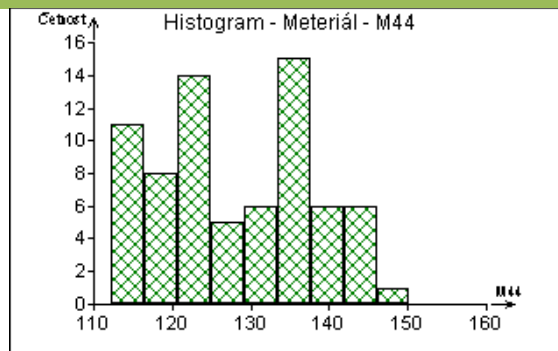
Histogram – Materiál – M42



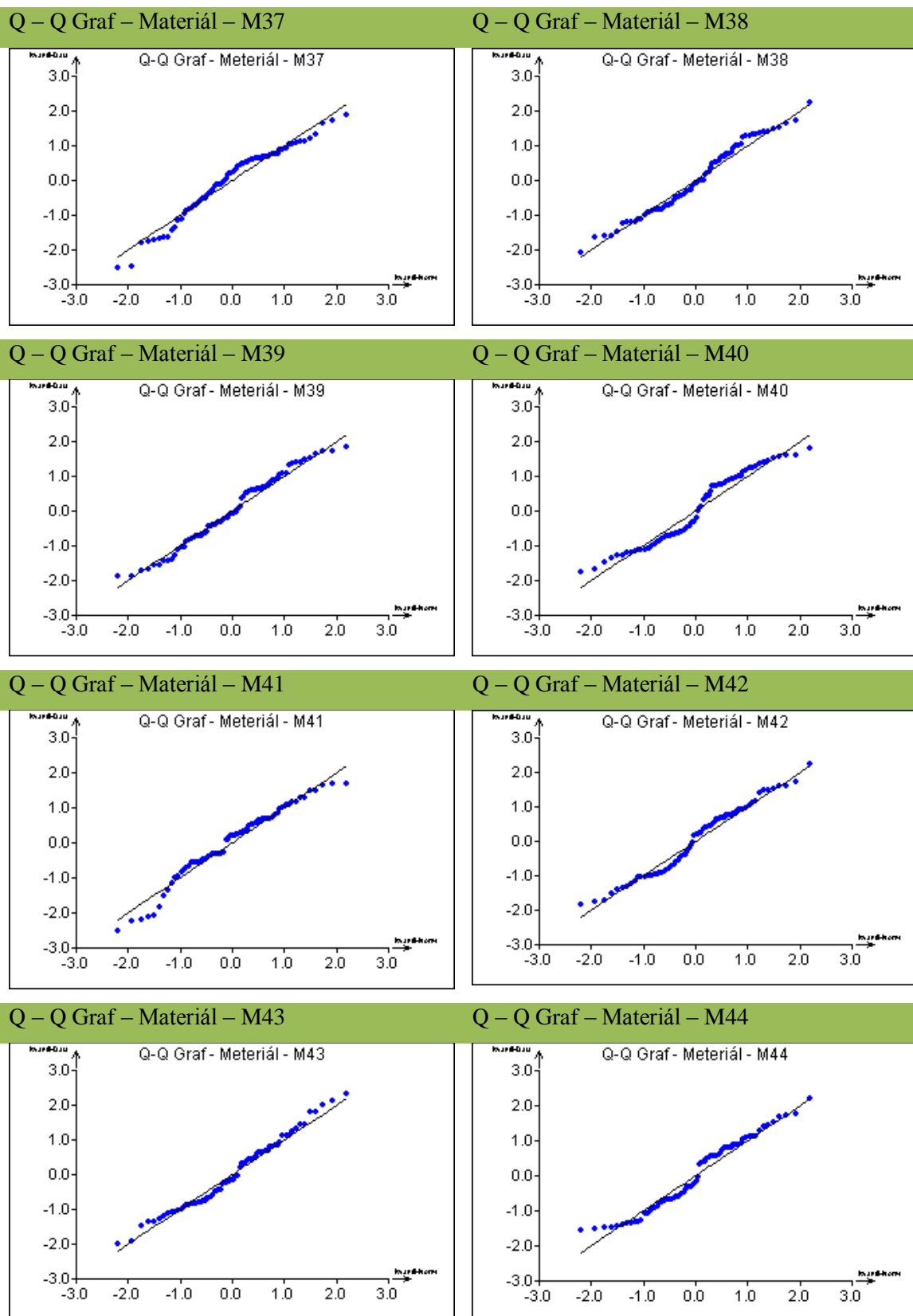
Histogram – Materiál – M43



Histogram – Materiál – M44

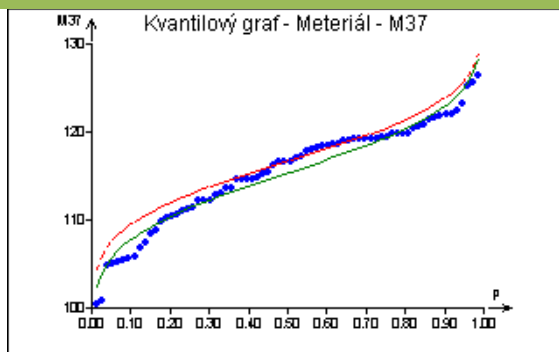


Tab. příloha 3. 2: Q - Q Grafy pro data M37 - M44

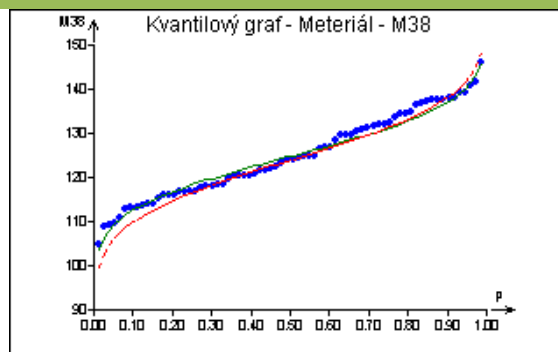


Tab. příloha 3. 3: Kvantilový graf pro data M37 - M44

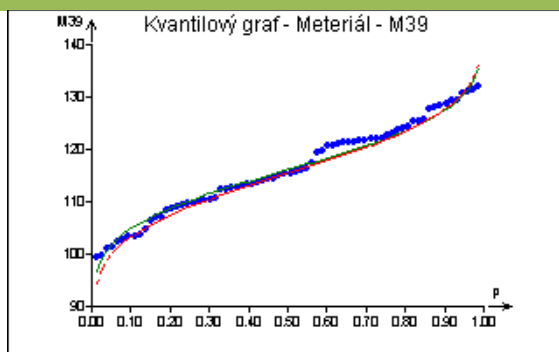
Kvantilový graf – Materiál – M37



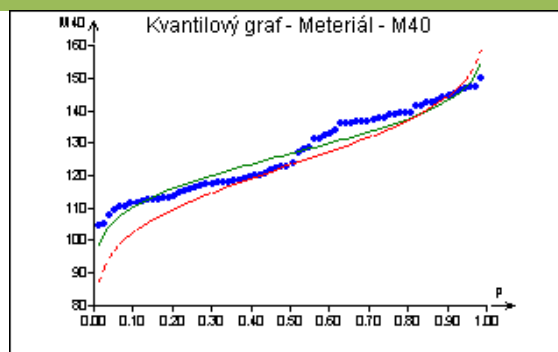
Kvantilový graf – Materiál – M38



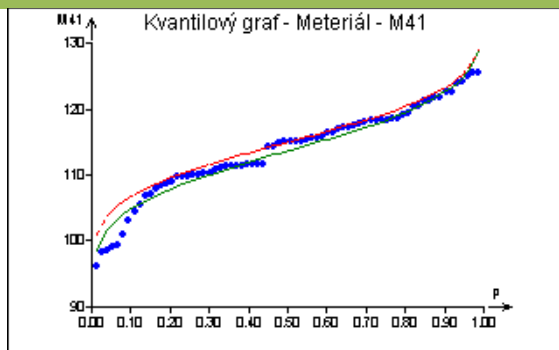
Kvantilový graf – Materiál – M39



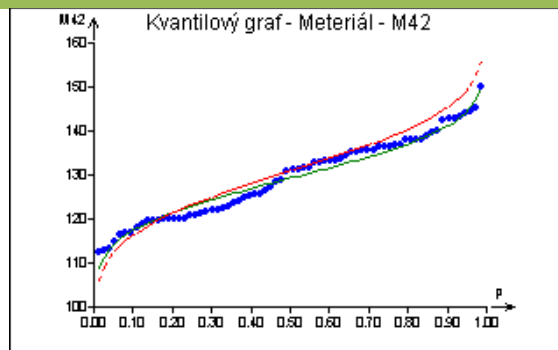
Kvantilový graf – Materiál – M40



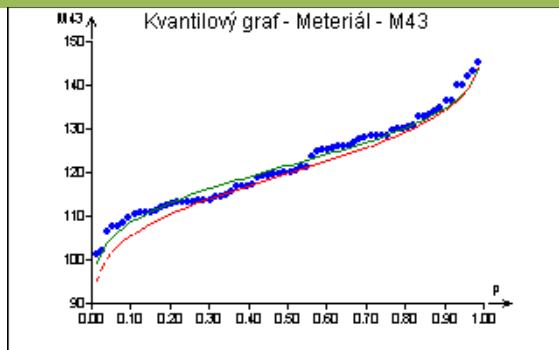
Kvantilový graf – Materiál – M41



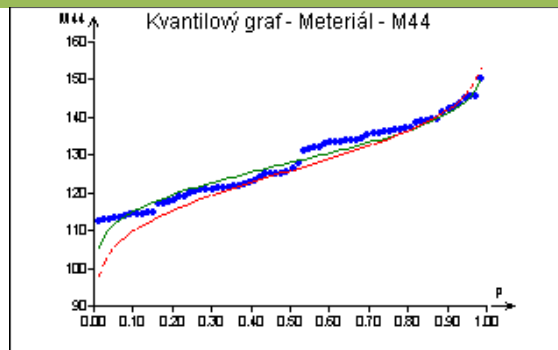
Kvantilový graf – Materiál – M42



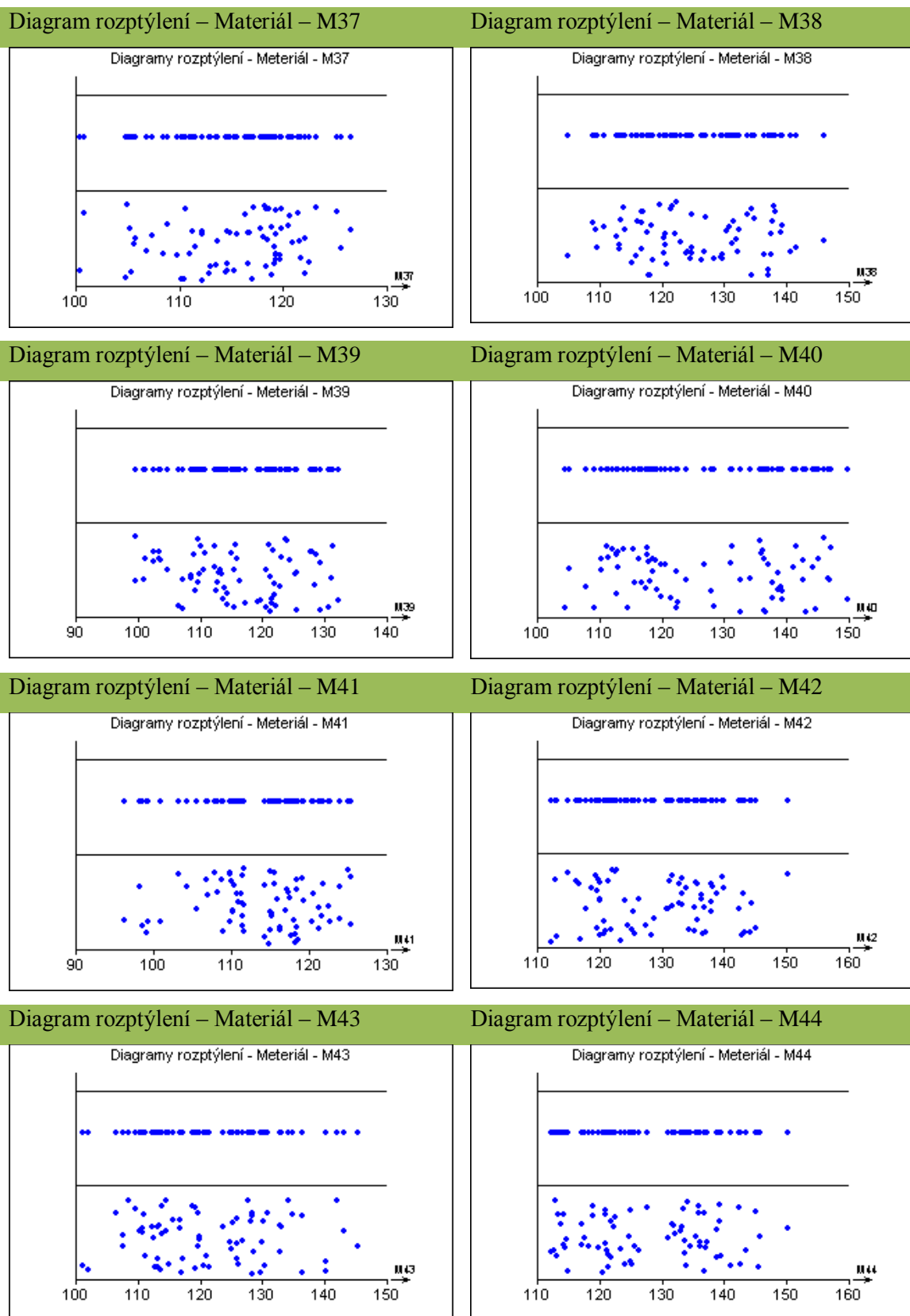
Kvantilový graf – Materiál – M43



Kvantilový graf – Materiál – M44

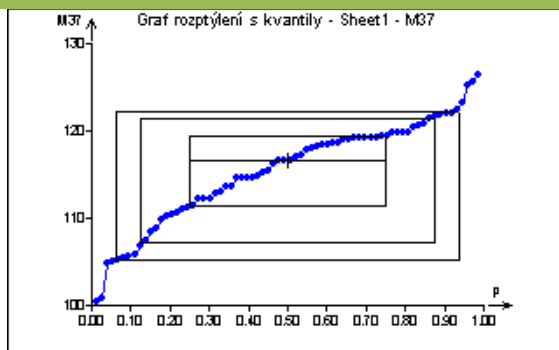


Tab. příloha 3. 4: Diagramy rozptýlení pro data M37 - M44

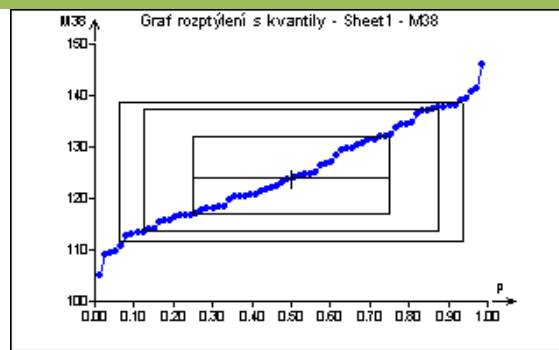


Tab. příloha 3. 5: Grafy rozptýlení s kvantily pro materiály M37 – M44

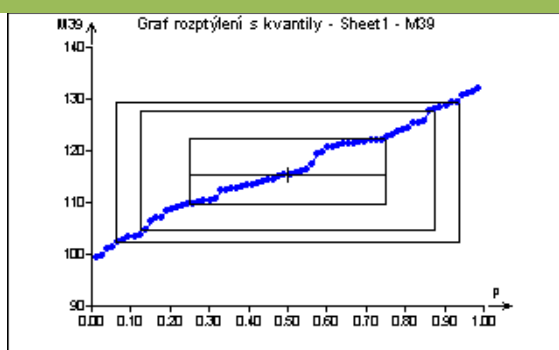
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M37



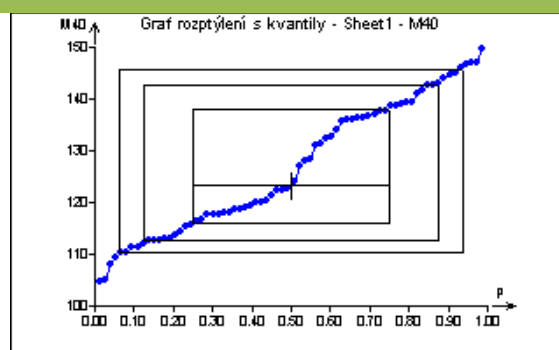
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M38



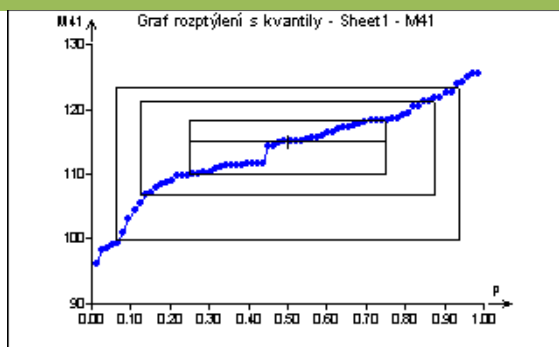
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M39



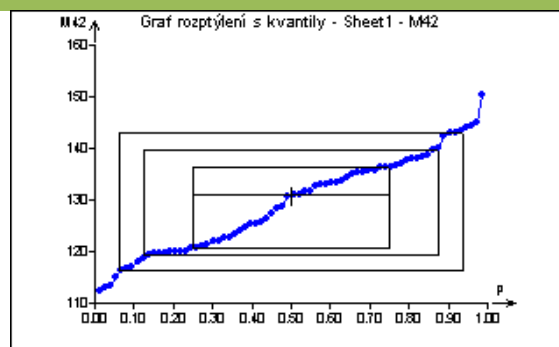
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M40



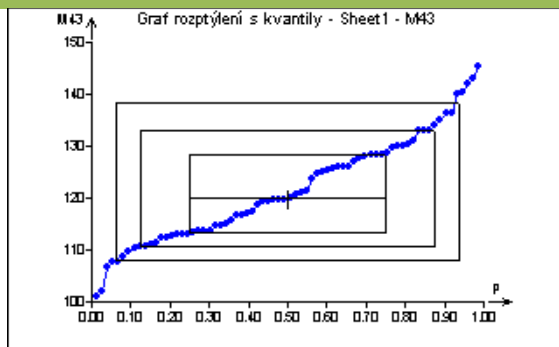
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M41



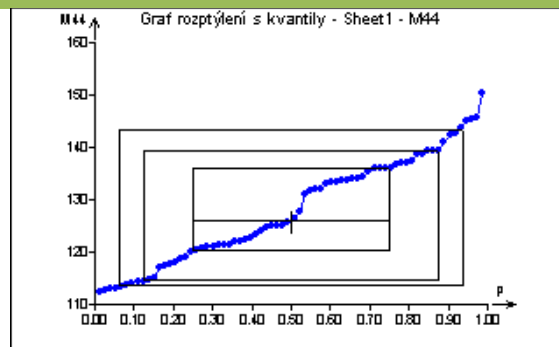
Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M42



Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M43

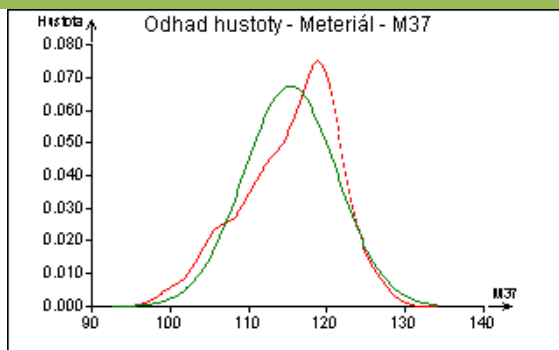


Graf rozptýlení s kvantily – Materiál – M44

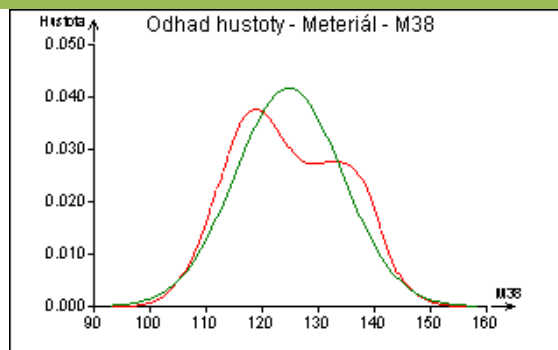


Tab. příloha 3. 6: Odhad hustoty pro data M37 - M44

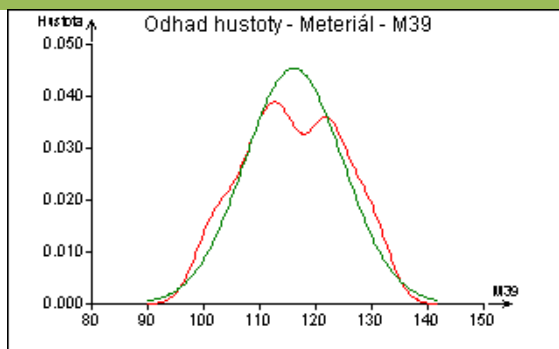
Odhad hustoty – Materiál – M37



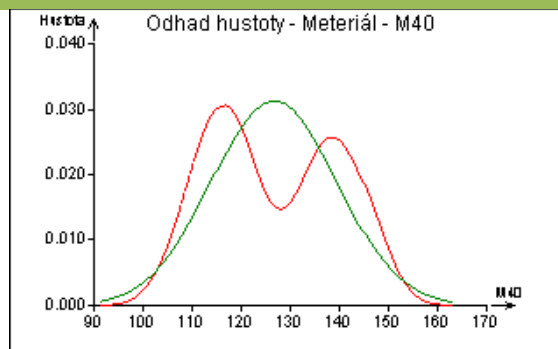
Odhad hustoty – Materiál – M38



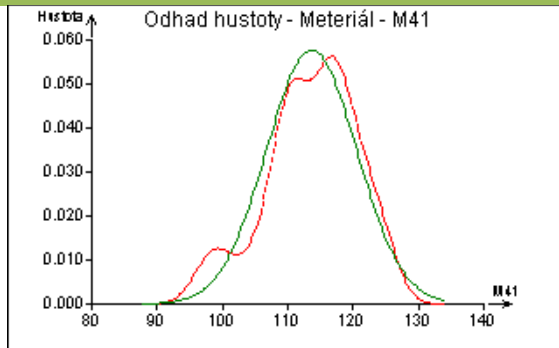
Odhad hustoty – Materiál – M39



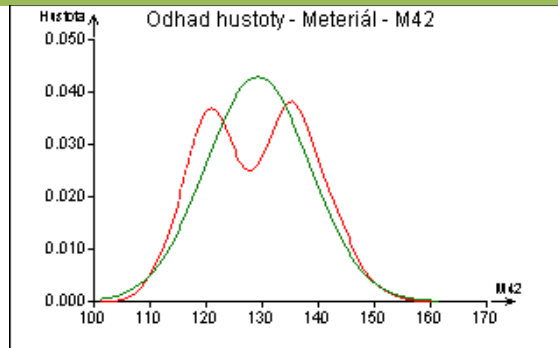
Odhad hustoty – Materiál – M40



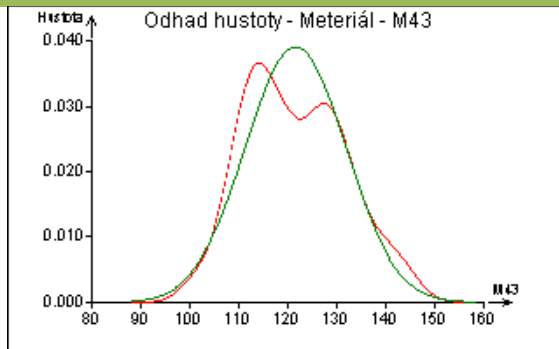
Odhad hustoty – Materiál – M41



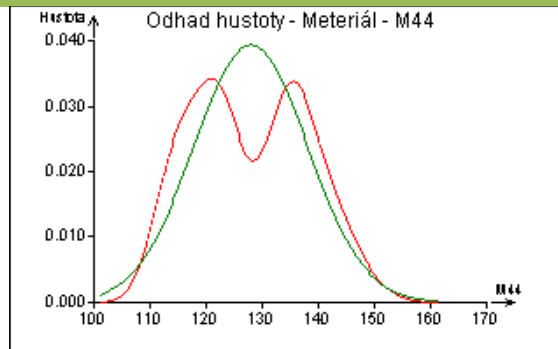
Odhad hustoty – Materiál – M42



Odhad hustoty – Materiál – M43



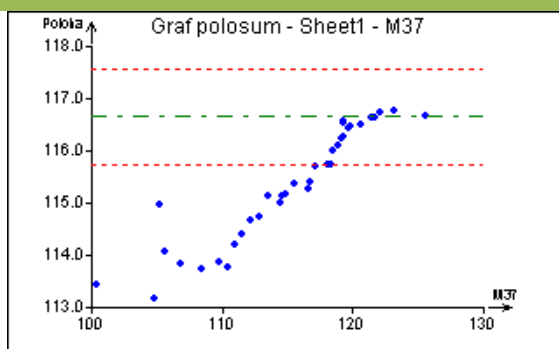
Odhad hustoty – Materiál – M44



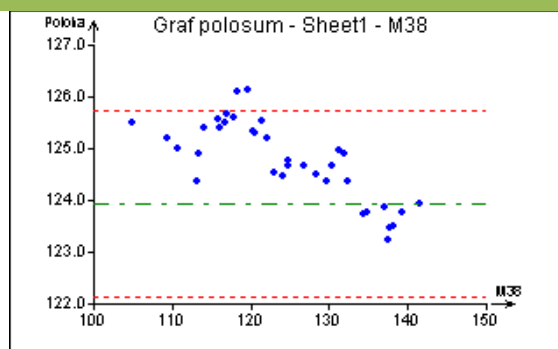
## PŘÍLOHA 3

Tab. příloha 3. 7: Graf polosum pro data M37 - M44

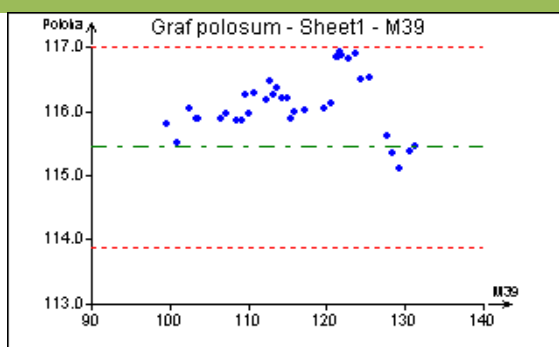
Graf polosum – Materiál – M37



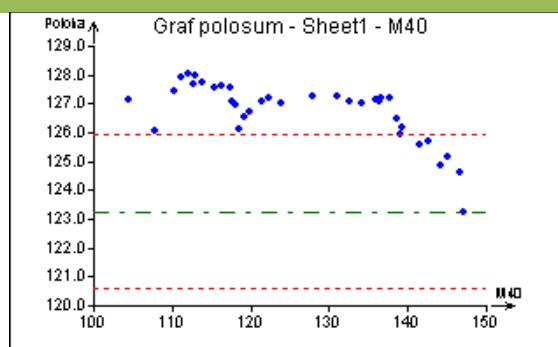
Graf polosum – Materiál – M38



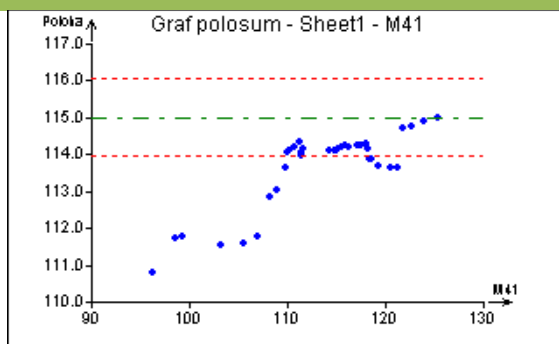
Graf polosum – Materiál – M39



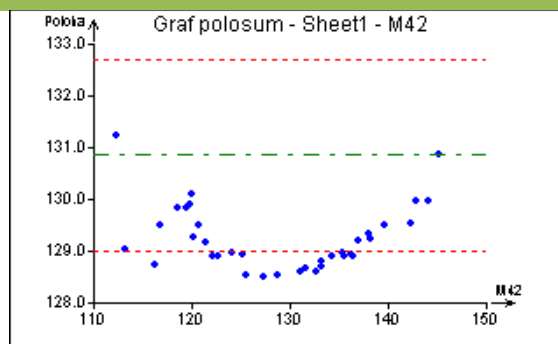
Graf polosum – Materiál – M40



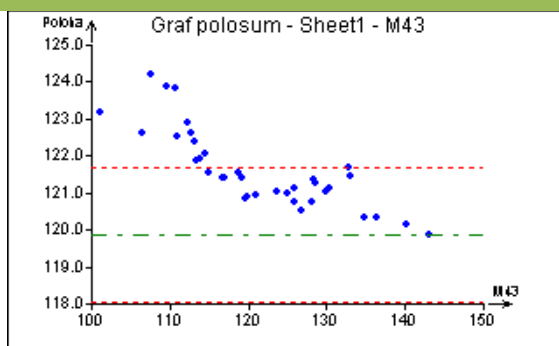
Graf polosum – Materiál – M41



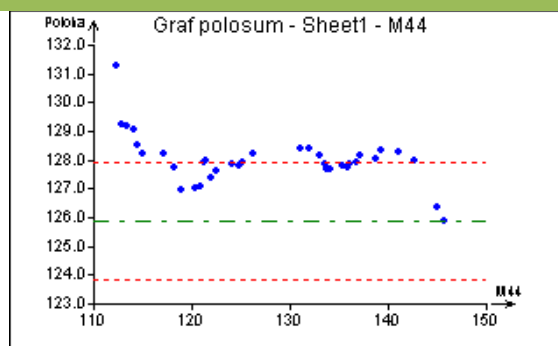
Graf polosum – Materiál – M42



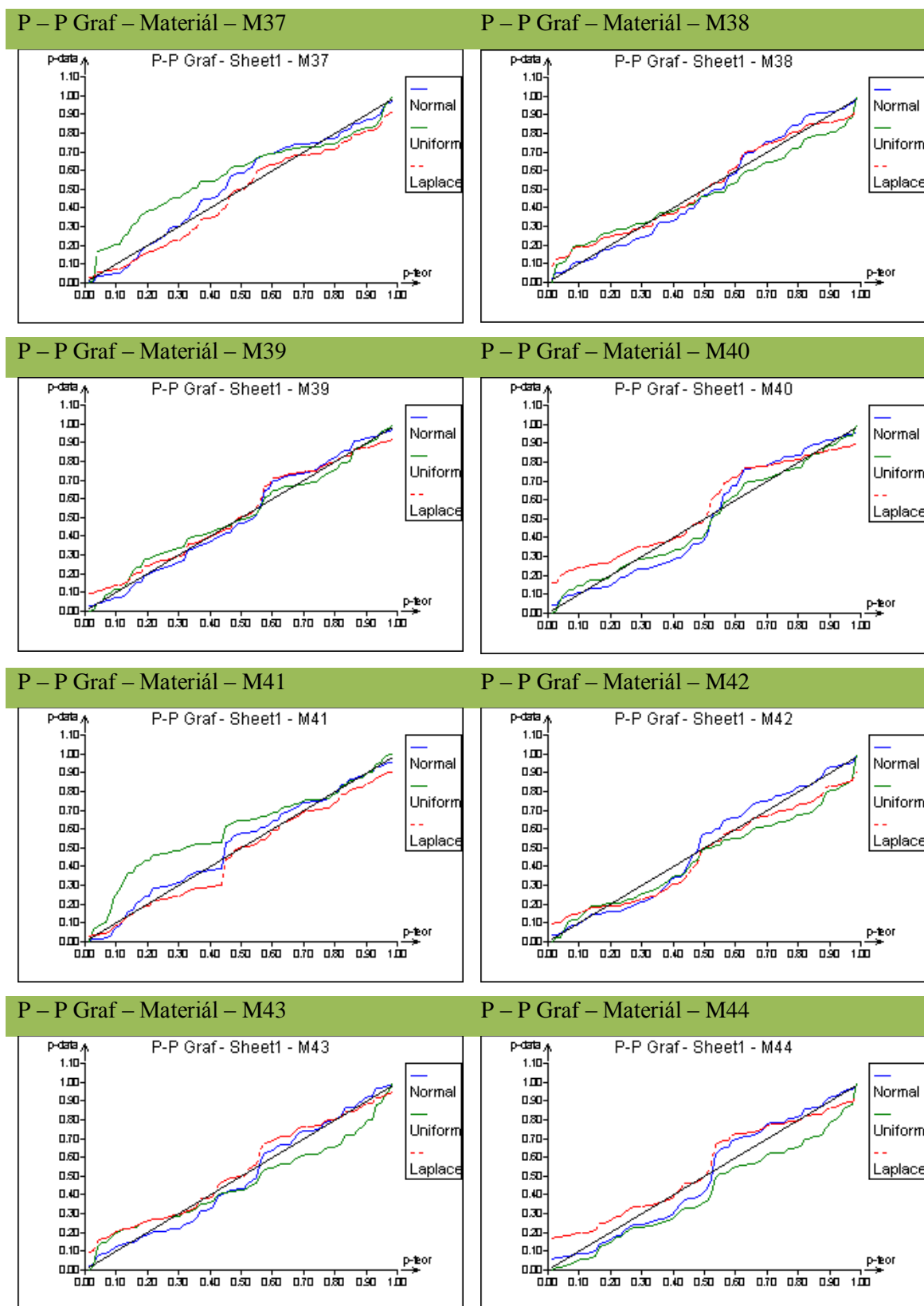
Graf polosum – Materiál – M43



Graf polosum – Materiál – M44



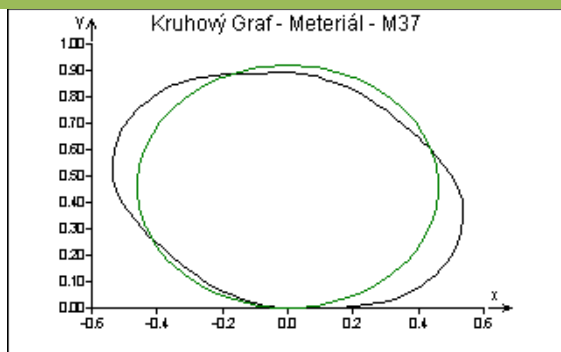
Tab. příloha 3. 8: P – P Graf pro data M37 - M44



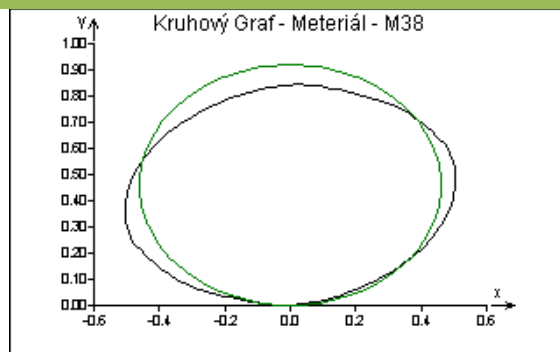


Tab. příloha 3. 9: Kruhový graf pro data M37 - M44

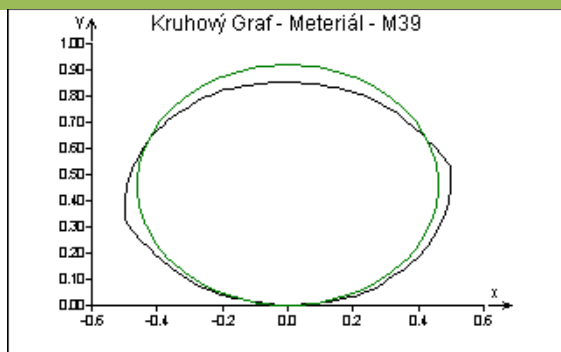
Kruhový graf – Materiál – M37



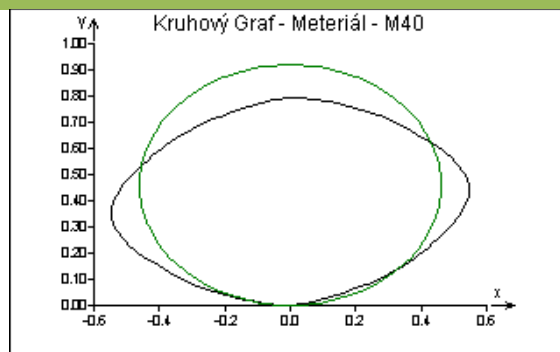
Kruhový graf – Materiál – M38



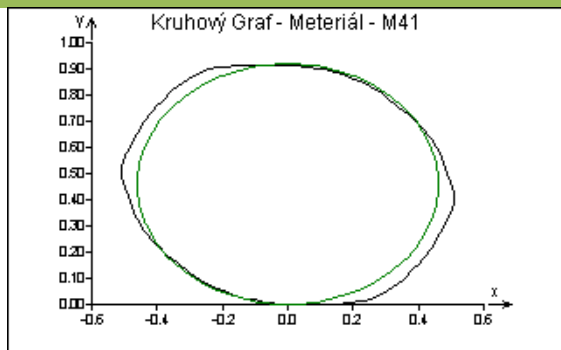
Kruhový graf – Materiál – M39



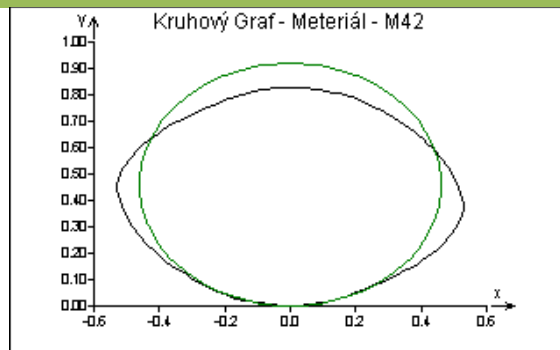
Kruhový graf – Materiál – M40



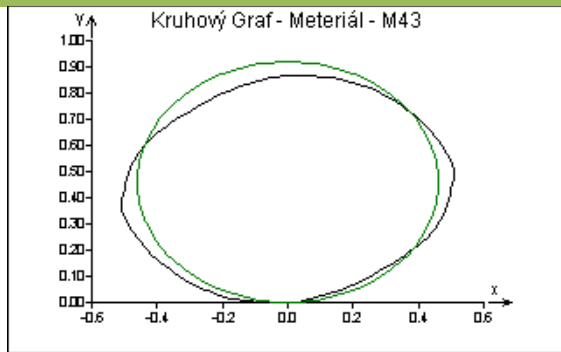
Kruhový graf – Materiál – M41



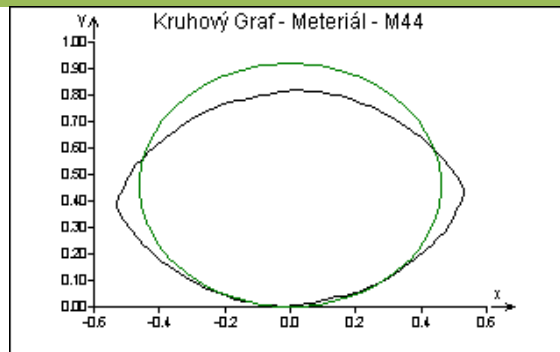
Kruhový graf – Materiál – M42



Kruhový graf – Materiál – M43



Kruhový graf – Materiál – M44



## **PŘÍLOHA 4**

## PŘÍLOHA 4

Tab. příloha 4. 1: Grafy korelace  $\alpha$  a ostatních nezávislých veličin

